

---

# **Nationales Programm Ungarns zur Entsorgung abgebrannter Brennstoffe und radioaktiver Abfälle**

---

**ARBEITSDOKUMENT**

**Juli 2015**

## Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abkürzungen und Begriffserklärung.....	6
1 Präambel.....	9
2 In der nationalen Politik formulierte Zielsetzungen, allgemeine Grundsätze, Verantwortlichkeiten, Ziel des nationalen Programms, seine Randbedingungen.....	10
2.1 Allgemeine Grundsätze .....	11
2.2 Verantwortlichkeiten, Organisationsrahmen .....	12
2.3 Ziel des nationalen Programms, seine Randbedingungen .....	13
2.3.1 Politik bezüglich der Abschlussphase des nuklearen Brennstoffzyklus .....	14
2.3.2 Politik für die Entsorgung radioaktiver Abfälle .....	14
2.3.3 Politik bezüglich der Demontierung der Nuklearanlagen .....	14
3 Einstufung, Entstehung und Bestandverzeichnis radioaktiver Abfälle .....	15
3.1 Einstufung radioaktiver Abfälle .....	16
3.2 Anwender der Atomenergie – „Abfallerzeuger“ .....	17
3.2.1 Zeitintervallen der Betreibung der Anlagen.....	17
3.2.2 Entstehung radioaktiver Abfälle im Atomkraftwerk Paks .....	18
3.2.3 Entstehung radioaktiver Abfälle im Forschungsreaktor von Budapest.....	23
3.2.4 Entstehung radioaktiver Abfälle im Unterrichtsreaktor .....	24
3.2.5 Entstehung institutioneller radioaktiver Abfälle .....	25
3.2.6 Radioaktive Abfälle der neuen Blöcke des Atomkraftwerks .....	28
3.3 Gesamtbestandverzeichnis der radioaktiven Abfälle .....	30
4 Bildung der abgebrannten Brennelemente .....	32
4.1 Im Atomkraftwerk Paks anfallende abgebrannte Brennelemente .....	33
4.1.1 Anzahl der im Atomkraftwerk Paks anfallenden abgebrannten Brennelemente	33
4.1.2 Voraussichtliche Anzahl der in Zukunft im Atomkraftwerk Paks anfallenden abgebrannten Brennelemente .....	35
4.2 Im Budapester Forschungsreaktor anfallende abgebrannte Brennelemente.....	36
4.3 Im Ausbildungsreaktor anfallende abgebrannte Brennelemente .....	37
4.4 Die in den neuen Atomkraftwerksblöcken anfallenden abgebrannten Brennelemente. ....	38
4.5 Inventur der abgebrannten Brennelemente .....	39
5 Behandlung der abgebrannten Brennelemente.....	40
5.1 Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente der Energiereaktoren .....	40

5.1.1	Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente des Atomkraftwerks Paks ..	41
5.1.2	Möglichkeiten der Zwischenlagerung der ausgebrannten Brennelemente der neuen Blöcke ..	46
5.2	Die Schlussphase des nuklearen Brennstoffzyklus für Energiereaktoren ..	47
5.2.1	Schlussphase des nuklearen Brennstoffzyklus der betriebenen Energiereaktoren.	48
5.2.2	Die Auswirkung der neuen Atomkraftwerkblöcke auf die Abschlussphase des Kernbrennstoffkreislaufes ..	55
5.2.3	Entscheidungspunkte in Verbindung mit der Entsorgung der abgebrannten Brennstoffe ..	56
5.3	Entsorgung der abgebrannten Brennstoffe des Budapester Forschungsreaktors und des Ausbildungsreaktors ..	58
6	Endlagerung der radioaktiven Abfälle ..	59
6.1	Lagerung und deren Terminierung der institutionellen niedrig- und mittelradioaktiven Abfälle.....	59
6.1.1	Meilensteine der Verwirklichung des RHFT, seine gegenwärtige Gestaltung ..	60
6.1.2	Erhöhung der Sicherheit und Freisetzung von Kapazitäten ..	62
6.1.3	Betriebung des RHFT , Versorgung der radioaktiven Abfälle.....	63
6.1.4	Das Schließungskonzept des RHFT, institutionelle Kontrolle.....	65
6.1.5	Zukünftige Meilensteine des RHFT ..	66
6.2	Unterbringung niedrig - und mittelradioaktiver Abfälle aus dem Kraftwerk.....	68
6.2.1	Meilensteine der Verwirklichung des NRHT, seine gegenwärtige Gestaltung..	68
6.2.2	Betrieb des NRHT ..	69
6.2.3	Weitere Meilensteine des NRHT ..	71
6.2.4	Das Schließungskonzept des NRHT, institutionelle Kontrolle ..	74
6.2.5	Auswirkungen der neuen Blöcke auf die Lagerung niedrig- und mittelradioaktiver Abfälle ..	75
6.3	Entsorgung hochaktiver und langlebiger Abfälle ..	76
6.3.1	Vorgeschichte der Standortwahl, gegenwärtige Situation ..	76
6.3.2	Zeitplan der Errichtung des geologischen Tiefenlagers.....	79
6.3.3	Die Auswirkung der neuen Blöcke auf die Errichtung des geologischen Tiefenlagers ..	81
7	Demontage der nuklearen Anlagen ..	81

7.1	Demontage des Atomkraftwerkes in Paks.....	82
7.1.1	Vorgeschichte.....	82
7.1.2	Zeitplanung des Stilllegungsprozesses.....	83
7.2	Stilllegung von KKÁT.....	87
7.2.1	Zeitplanung des Stilllegungsprozesses.....	87
7.3	Stilllegung der neuen Blöcke.....	88
7.4	Stilllegung des Forschungsreaktors in Budapest.....	89
7.5	Stilllegung des Lehrreaktors.....	90
8	Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten im Zusammenhang mit der Umsetzung des nationalen Programms.....	91
8.1	Forschungs- und Entwicklungsaufgaben im Zusammenhang mit der Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente.....	91
8.2	Forschungs- und Entwicklungsaufgaben im Zusammenhang mit der letzten Phase des Kernbrennstoffkreislaufes.....	92
8.3	Forschungs- und Entwicklungsaufgaben im Zusammenhang mit der Entsorgung der radioaktiven Abfälle.....	95
8.3.1	Forschungs- und Entwicklungsbedarf im Zusammenhang mit dem Betrieb des RHFT und der Erhöhung der Sicherheit.....	95
8.3.2	Forschungs- und Entwicklungsbedarf im Zusammenhang mit dem Betrieb und der Erweiterung des RHFT.....	95
8.3.3	Forschungs- und Entwicklungsaufgaben im Zusammenhang mit der Errichtung des Tiefenlagers.....	97
8.4	Forschungs- und Entwicklungsaufgaben im Zusammenhang mit der Stilllegung....	98
9	Endpunkte und innere Zusammenhänge des nationalen Programms.....	99
10	Überwachung der Entwicklung.....	103
11	Finanzierung der Maßnahmen.....	104
11.1	Zentraler Nuklearfonds.....	104
11.2	Mittel- und langfristigen Finanzplanung.....	105
11.3	Einfügung der neuen Atomkraftwerksblöcke in das Finanzierungssystem.....	106
12	Gewährleistung der Transparenz, Beteiligung der Öffentlichkeit an der Entscheidungsfindung.....	107
12.1	Beteiligung der Bevölkerung an der Auswahl, Errichtung des NRHT-Standortes....	110
1	Anhang.....	112

2	Anhang .....	115
---	--------------	-----

## Verzeichnis der Abkürzungen und Begriffserklärung

Fonds	Zentraler Nuklearfonds
ALARA-Prinzip	Kurzwort aus der englischen Bezeichnung „As Low As Reasonable Achievable“ (so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar) mit der Bedeutung, eine Strahlenbelastung so gering zu halten, wie dies mit vernünftigen Mitteln machbar ist.
ALFRED	Bezeichnung für den Reaktor, der zur Demonstrierung von Betriebsfähigkeit der Technologie des bleigekühlten Schnellbrutreaktors dient.
ALLEGRO	Bezeichnung für den Reaktor, der zur Demonstrierung der Betriebsfähigkeit der Technologie des gasgekühlten Schnellbrutreaktors dient.
Atomgesetz	Gesetz CXVI vom Jahre 1996 über die Atomenergie
BAF	Aleurolit Formation in Boda
BME NTI	Institut für Nukleartechnik an der Technischen und Wirtschaftswissenschaftlichen Universität von Budapest, Inhaber der Genehmigung für Unterrichtsreaktor.
Forschungsreaktor in Budapest	Forschungsreaktor des Forschungszentrums für Energiewissenschaften der Ungarischen Akademie der Wissenschaften.
ERU	Kurzwort aus der englischen Bezeichnung „Enriched Reprocessed Uranium“, das den Brennstoff bedeutet, der aus bei Wiederaufarbeitung getrenntem Uran erzeugt und wieder angereichert wird.
FHF-Technologie	Im Atomkraftwerk Paks zur Volumenreduzierung von Flüssigabfall verwendete Technologie zur Verarbeitung der Flüssigabfälle.
GFR	Kurzwort aus der englischen Bezeichnung „Gas-cooled Fast Reactor“, das gasgekühlten Schnellbrutreaktor, einen Typ der vierten Reaktorgeneration bedeutet.
Richtlinie	Richtlinie 2011/70/Euratom des Rates vom 11. Juli 2011 über einen Gemeinschaftsrahmen für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle

ITT	Assoziation für Informierung über Isotope (Izotóp Tájékoztató Társulás, eine Assoziation der Selbstverwaltungen, die im Umfeld von RHFT arbeitet)
KGYK	Übungszentrum für Instandhaltung des Atomkraftwerks Paks (Paksi Atomerőmű Karbantartó Gyakorló Központja)
KKÁT	Zwischenlager für abgebrannte Kassetten (Kiégett Kazetták Átmeneti Tárolója)
Zentralregister	Das vom Landesamt für Atomenergie (Országos Atomenergia Hivatal) gemäß Verordnung Nr. 11/2010 (III. 4.) KHEM über die Ordnung der Registrierung und Kontrolle von radioaktiven Stoffen sowie über die verbundene Datenlieferung geführtes zentrales Register.
MOX	Kurzwort aus der englischen Bezeichnung „Mixed Oxide Fuel“, aus gemischten Oxiden (Uran und Plutonium) bestehender Brennstoff, der aus bei der Wiederaufarbeitung abgetrenntem Plutonium erzeugt wird.
MTA EK	Forschungszentrum für Energiewissenschaften der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Inhaber der Genehmigung für Forschungsreaktor.
NAH Brunnen	Zur Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle dienender Bohrbrunnen in Atomkraftwerk Paks.
NRHT	Nationale Lageranlage für radioaktive Abfälle (Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló létesítmény) in Bataapáti
NyMTIT	Assoziation der Selbstverwaltungen im Gebirge West-Mecsek für Informierung der Gesellschaft und für regionale Entwicklung (Társadalmi Információs és Területfejlesztési Önkormányzati Társulás, Assoziation der Selbstverwaltungen in der Region der Standortforschung für geologisches Tieflager)
OAH	Landesamt für Atomenergie (Országos Atomenergia Hivatal – Überwachungsorganisation für Atomenergie) als Regierungsamt.
Unterrichtsreaktor	Unterrichtsreaktor des Instituts für Nukleartechnik an der Technischen und Wirtschaftswissenschaftlichen Universität von Budapest.
PUREX	Kurzwort aus der englischen Bezeichnung „Plutonium and Uranium Recovery by EXtraction“, es bedeutet das meistverbreitete Verfahren für Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennstoffen.

REMIX	Kurzwort aus der englischen Bezeichnung „REgenerated MIXture of U, Pu oxides“, ein Brennstofftyp in der Entwicklung, bestehend aus wiederaufgearbeitetem Uran und Plutonium.
RHFT	Verarbeitungswerk und Lager für radioaktive Abfälle (Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló) auf dem Standort neben Püspökszilágy
RHK Kft.	Gemeinnützige Non-Profit GmbH zur Entsorgung radioaktiver Abfälle (Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Korlátolt Felelősségű Társaság)
TEIT	Assoziation für Kontrolle, Informierung der Gesellschaft und Siedlungsentwicklung (Társadalmi Ellenőrző Információs és Településfejlesztési Társulás, Assoziation der Selbstverwaltungen im Umfeld von KKÁT)
TETT	Assoziation für Kontrolle und Informierung der Gesellschaft (Társadalmi Ellenőrzési Tájékoztatási Társulás, Assoziation der Selbstverwaltungen im Umfeld von NRHT)
t <sub>HM</sub>	Schwermetallmasse in abgebrannten Brennstoffen in Tonnen (tonnes of heavy metal).
V4	Visegráder Vier: Tschechien, Polen, Ungarn und Slowakei.
V4G4	Organisation der V4 Länder zur Forschungs koordinierung der Reaktoren der Generation 4.
VVER-440/213	Wassergekühlter und mit Wasser moderierter Reaktor russischer Konstruktion. Atomkraftwerk Paks wird auch mit solchen Reaktoren betreiben. Seine ursprüngliche Leistung war 440 MW <sub>e</sub> .
VVER-1200	Wassergekühlter und mit Wasser moderierter Reaktor russischer Konstruktion. Seine Nennleistung beträgt ungefähr 1200 MW <sub>e</sub> . Die in Paks zu errichtenden neuen Atomkraftwerkblöcke gehören auch zu dieser Reaktorfamilie.



# 1 Präambel

Im Artikel 4 der Richtlinie 2011/70/Euratom des Rates vom 19. Juli 2011 über einen Gemeinschaftsrahmen für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle (im Weiteren: Richtlinie) wird vorgeschrieben, dass die Mitgliedstaaten bezüglich der Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle ihre nationale Politik erstellen und aufrechterhalten sollen. Das ungarische Parlament hat entsprechend der oben genannten Vorschrift das Dokument über die nationale Politik über die Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle (im Weiteren: nationale Politik) durch seine Entscheidung Nr. 21/2015 (V. 4.) OGY angenommen.

Die nationale Politik fasst die anwendbaren Grundsätze der Entsorgung abgebrannter nuklearer Brennstoffe und radioaktiver Abfälle zusammen. Der größte Teil dieser Grundsätze war im ungarischen Recht – vor allem im Gesetz CXVI vom Jahre 1996 über die Atomenergie (im Weiteren: Atomgesetz) und in seinen Durchführungsverordnungen – auch vor Annahme der nationalen Politik aufzufinden, wurden aber gemäß den Vorschriften der Richtlinie auch systematisch zusammengefasst. In der nationalen Politik werden die Politiken bezüglich des Schließens des Brennstoffzyklus, der Entsorgung radioaktiver Abfälle sowie der Demontierung nuklearer Anlagen als Randbedingungen des nationalen Programms formuliert sowie erscheinen die Anforderungen an die und Methoden zur Einbeziehung der Bevölkerung ins Entscheidungstreffens, also die Politik darüber, wie man die Veröffentlichung sicherstellt.

Im Artikel 11 der Richtlinie wird vorgeschrieben, dass jedes Staat über nationales Programm verfügen und dieses auf dem neuesten Stand halten soll. Im Artikel 12 der Richtlinie wird vorgeschrieben, dass das nationale Programm Folgendes enthalten soll:

- a) allgemeine Zielsetzungen der nationalen Politik bezüglich der Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle;
- b) bedeutende Meilensteine der Durchführungsphase und eindeutige Zeitplanung der Erfüllung dieser Meilensteine im Hinblick auf die übergreifenden Ziele des nationalen Programms;
- c) Bestandsverzeichnis aller vorhandenen abgebrannten Brennelemente und radioaktiven Abfälle, ferner die Einschätzung der in der Zukunft entstehenden Mengen einschließlich der radioaktiven Abfälle, die aus Demontierung stammen. Im Bestandsverzeichnis muss im Einklang mit der entsprechenden Einstufung der radioaktiven Abfälle der Ort und die Menge der radioaktiven Abfälle eindeutig angeführt werden;
- d) die Konzepte oder Pläne und die technischen Lösungen bezüglich der Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle von der Entstehung bis zur Endlagerung;
- e) die Konzepte oder Pläne bezüglich der Existenz der zur Endlagerung dienenden Anlage in der Periode nach dem Schließen, einschließlich der Zeitdauer, während die entsprechenden Prüfungen durchgeführt werden müssen beziehungsweise die Mittel, anhand welcher das Wissen bezüglich der Anlage langfristig zu bewahren ist;

- f) Beschreibung der Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationstätigkeiten, durch die die Lösungen bezüglich der Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle auszuführen sind;
- g) die Verantwortlichkeiten bezüglich der Durchführung des nationalen Programms sowie die wichtigsten Leistungsindikatoren, die zur Verfolgung der Fortschritte dienen;
- h) die Aufstellung der Kosten des nationalen Programms, die Grundlage und die Annahmen zur Kostenaufstellung, einschließlich der zeitlichen Entwicklung der Kosten;
- i) das (die) gültigen Finanzierungssystem(e);
- j) die Politik oder den Vorgang, die im Artikel 10 der Richtlinie erwähnt wurden und der Durchsichtigkeit dienen;
- k) mit den Mitgliedstaaten oder mit Drittländern abgeschlossene eventuelle Abkommen über die Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle, u.a. über den Gebrauch zur Endlagerung dienender Anlagen.

Das nationale Programm wurde entsprechend den oben stehenden Erwartungen zusammengestellt unter Berücksichtigung des Bezugszustandes vom 1. Januar 2015.

Das nationale Programm wurde entsprechend dem Artikel 12 der Richtlinie 2011/70/Euratom des Rates vom 19. Juli 2011 über einen Gemeinschaftsrahmen für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle und dem § 5/C des Atomgesetzes zusammengestellt. Laut Artikel 2 Punkt (a) Gedankenstrich 2 der Richtlinie 2001/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Juni 2001 über die Prüfung der Umweltauswirkungen bestimmter Pläne und Programme umfasst der Geltungsbereich der Rechtsnorm auch diejenigen Pläne und Programme, die in Gesetzen, Verordnungen oder in Bestimmungen öffentlicher Verwaltungen vorgeschrieben werden. Das nationale Programm fällt unter den Wirkungsbereich des § 1 Abs. 2 Punkt b) Unterpunkt ba) der Regierungsverordnung Nr. 2/2005 (I.11.) über die Umweltprüfung einzelner Pläne beziehungsweise Programme (im Weiteren: Regierungsverordnung Nr. 2/2005), deshalb ist es nötig, die strategische Umweltprüfung im Zusammenhang mit dem Programm durchzuführen, deren verfahrenstechnische Schritte in der Regierungsverordnung Nr. 2/2005 (I. 11.) enthalten sind.

## **2 In der nationalen Politik formulierte Zielsetzungen, allgemeine Grundsätze, Verantwortlichkeiten, Ziel des nationalen Programms, seine Randbedingungen**

Die in Verbindung mit der Entsorgung radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennstoffe sowie mit der Demontierung nuklearer Anlagen anwendbaren Grundsätze sind in der nationalen Politik zusammengefasst.

Von diesen Grundätzen werden diejenigen, die hinsichtlich der Zusammenstellung und Durchführung des nationalen Programms maßgeblichen sind, im Kapitel **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** erläutert.

Die mit den Tätigkeiten, die Gegenstand des nationalen Programms sind, verbundenen Verantwortlichkeiten werden im Kapitel **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** dargestellt, während das Ziel des nationalen Programms und seine Randbedingungen bildenden einzelnen Politiken werden im Kapitel 2.3 zusammengefasst.

## 2.1 Allgemeine Grundsätze

- 1) **Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt:** Die Atomenergie darf nur auf die Weise verwendet werden, dass sie das menschliche Leben, die Gesundheit, die Lebensbedingungen der jetzigen und der zukünftigen Generationen, die Umwelt und die Sachwerte über das gesellschaftlich akzeptierbare – auch bei anderen Wirtschaftstätigkeiten notwendigerweise unternommene – Risikomaß nicht gefährdet. Allgemeine Voraussetzung der Verwendung von Atomenergie ist, dass die durch sie gebotenen gesellschaftlichen Vorteile größer sein sollen als die Risiken, welche die Bevölkerung, Arbeitnehmer, Umwelt und Sachwerte bedrohen.
- 2) **Priorität der Sicherheit:** Die Sicherheit hat Vorrang gegenüber allen anderen Gesichtspunkten bei Verwendung der Atomenergie, also bei Tätigkeiten, die Gegenstand des nationalen Programms sind (Entsorgung radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennstoffe sowie Demontierung von Nuklearanlagen).
- 3) **Belastung der zukünftigen Generationen:** Bei der Verwendung der Atomenergie muss die sichere Entsorgung entstehender radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennstoffe auf die Weise gesichert werden, dass die zukünftigen Generationen nicht stärker als akzeptierbar belastet werden.
- 4) **Minimierung der Entstehung radioaktiver Abfälle:** Der Anwender von Atomenergie ist verpflichtet sich dafür zu sorgen, dass die infolge seiner Tätigkeit entstehenden radioaktiven Abfälle im praktisch möglichen kleinsten Maß entstehen.
- 5) **ALARA-Prinzip:** Kurzwort aus der englischen Bezeichnung „As Low As Reasonable Achievable“ das bedeutet, eine Strahlenbelastung so gering zu halten, wie dies mit vernünftigen Mitteln machbar ist.
- 6) **Endlagerung der in Ungarn entstehenden radioaktiven Abfälle:** Die in Ungarn entstehenden radioaktiven Abfälle und die hoch radioaktiven Abfälle, die aus den während der Verarbeitung der beim Brennstoffverbrauch in Ungarn entstandenen abgebrannten Brennstoffen stammen, müssen grundsätzlich in Ungarn endgelagert werden unter der Ausnahme, wenn zum Zeitpunkt der Auslieferung ein Abkommen mit dem Land, das die Endlagerung übernimmt, – unter Rücksichtnahme auf die Kriterien der Europäischen Kommission – rechtskräftig ist, laut dessen die in Ungarn entstandenen radioaktiven Abfälle zur Endlagerung ins Lager für radioaktive Abfälle des betroffenen Landes geliefert werden kann.

- 7) **Verursacherprinzip:** Die Kosten der Entsorgung abgebrannter Brennstoffe und radioaktiver Abfälle müssen von dem getragen werden, bei dem diese Stoffe entstanden sind.

## 2.2 Verantwortlichkeiten, Organisationsrahmen

Die Verantwortung für die Entsorgung der in Ungarn entstehenden abgebrannten Brennstoffe und radioaktiven Abfälle liegt letztlich beim ungarischen Staat, ausgenommen die geschlossenen nichtgebrauchlichen Strahlenquellen, wenn diese dem Verkäufer oder dem Hersteller zurückgeliefert wurden sowie die abgebrannten Brennstoffe des Forschungsreaktors, falls sie in ein Land geliefert wurden, wo in Forschungsreaktoren gebräuchliche Brennstoffe unter Berücksichtigung der anwendbaren internationalen Abkommen verkauft oder hergestellt werden (siehe Kapitel 4.2).

Auch in dem Fall, wenn abgebrannte Brennstoffe und radioaktive Abfälle zur Verarbeitung oder Wiederaufarbeitung aus Ungarn in einen Mitgliedstaat der Europäischen Union oder in ein Drittland geliefert werden, liegt die Verantwortung letztlich bei Ungarn für die sichere Endlagerung dieser Stoffe einschließlich der als Nebenprodukt produzierten Abfälle. Sollte Ungarn zur Entsorgung abgebrannter Brennstoffe beziehungsweise radioaktiver Abfälle die Anlage eines dritten Landes in Anspruch nehmen, so muss sich vor der Inanspruchnahme der Dienstleistung unter anderem vergewissern, dass das leistungserbringende Land über Programme und Anlagen verfügt, deren hohe Sicherheitsziele mit den in der Richtlinie festgelegten Zielen gleichwertig sind.

Die primäre Verantwortung für die Sicherheit trägt der Genehmigungsinhaber der Anlage oder der Tätigkeit, die die Erhöhung der Strahlenrisiken verursachte. Dieser allgemeingültige Grundsatz gilt für jeden Anwender der Atomenergie, einschließlich der Genehmigungsinhaber, die in der Entsorgung radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennstoffe betroffen sind.

Die Anwendung der Atomenergie kann ausschließlich auf die in Rechtsnormen festgelegte Weise und unter behördlicher Aufsicht erfolgen. In Ungarn wurde eine Behörde, das Landesamt für Atomenergie (Országos Atomenergia Hivatal, im Weiteren OAH oder Aufsichtsorganisation für Atomenergie) zustande gebracht, das von den in der Förderung und Entwicklung der Anwendung von Atomenergie interessierten öffentlichen Einrichtungen unabhängig ist und die Aufsicht der nuklearen Anlagen sowie der Lager radioaktiver Abfälle versieht.

Gemäß den Vorschriften des Atomgesetzes sorgt die von der Regierung benannte Organisation für Ausarbeitung der nationalen Politik und des nationalen Programms bezüglich der Entsorgung radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennstoffe, für die Durchführung der Aufgaben in Verbindung mit der Endlagerung radioaktiver Abfälle, mit der Zwischenlagerung abgebrannter Brennstoffe sowie mit dem Schließen des nuklearen Brennstoffzyklus, ferner mit der Demontierung der nuklearen Anlagen. Das OAH hat in Vollmacht der Regierung zur Durchführung der oben stehenden Aufgaben am 2. Juni 1998

die Gemeinnützige Gesellschaft zur Entsorgung radioaktiver Abfälle (Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Társaság) gegründet, die am 7. Januar 2008 zur Gemeinnützigen Non-Profit GmbH zur Entsorgung radioaktiver Abfälle (Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Korlátolt Felelősségű Társaság) im Weiteren: RHK Kft.) umwandelte. Damit ist in Ungarn also eine unabhängige Organisation für die Entsorgung radioaktiver Abfälle zustande gekommen, deren Aufgaben und Verantwortlichkeiten in Rechtsregeln festgesetzt wurden.

Aufgrund des Atomgesetzes wurde der Zentrale Nuklearfonds (Központi Nukleáris Pénzügyi Alap, im Weiteren: Fonds) zustande gebracht, der als abgetrennter staatlicher Finanzfonds die Finanzierung der mit der Entsorgung radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennstoffe sowie mit der Demontierung nuklearer Anlagen verbundenen Aufgaben sichert (siehe detailliert im Kapitel 11). Die Kosten für die Entsorgung radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennstoffe soll – durch Einzahlung in den Fonds – derjenige tragen, bei dem diese Stoffe entstehen. Der Verwalter des Fonds ist der vom Ministerpräsidenten ernannte Minister, der die Überwachung der Aufsichtsorganisation der Atomenergie wahrnimmt (zurzeit der Minister für nationale Entwicklung).

Die Verantwortung ist in der Tätigkeitsreihe, die sich auf die Entsorgung radioaktiver Abfälle richtet, gemäß Folgendem geteilt:

- Jeder Genehmigungsinhaber, während dessen Tätigkeit radioaktive Abfälle entstehen, ist für jeden Entsorgungsschritt bis zu Übergabe der Abfälle – einschließlich des Sammelns, der Volumenreduzierung, Konditionierung, Verpackung unter anderem – verantwortlich, sowie dafür, dass die übergebenen Abfälle die bezüglichen Anforderungen an die Abfallübernahme erfüllen.
- Die Verantwortung der RHK Kft. umfasst die mit den radioaktiven Abfällen verbundenen weiteren Entsorgungsschritte nach der Übernahme einschließlich der Endlagerung.

## **2.3 Ziel des nationalen Programms, seine Randbedingungen**

Hauptziel des nationalen Programms ist neben der Erfüllung der in der nationalen Politik festgelegten Grundsätze und Randbedingungen die Darstellung der Pläne und der technischen Lösungen bezüglich der Entsorgung der gesamten abgebrannten Brennstoffe und radioaktiven Abfälle, die auf dem Gebiet Ungarns entstanden sind – sowie die Darstellung der Finanzierung von diesen – von der Entstehung bis zur Endlagerung. Von den allgemeinen Grundsätzen der nationalen Politik sind die aus dem Gesichtspunkt der Durchführung der nationalen Politik wichtigsten im Kapitel **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** aufgezählt.

Die Politiken bezüglich der Abschlussphase des nuklearen Brennstoffzyklus, der Entsorgung radioaktiver Abfälle sowie der Demontierung werden als Randbedingungen des nationalen Programms nachfolgend dargestellt.

### **2.3.1 Politik bezüglich der Abschlussphase des nuklearen Brennstoffzyklus**

Heute ist es noch nicht nötig bezüglich der Abschlussphase des nuklearen Brennstoffzyklus der energetischen Reaktoren die endgültige Entscheidung zu treffen, man soll aber festsetzen, dass das Land die Entsorgung hoch radioaktiver Abfälle unabhängig von der Abschlussmethode des Brennstoffzyklus lösen muss. Aufgrund der aktuellen Forschungen ist dafür das geologische Tiefenlager am meisten geeignet.

Die Politik bezüglich der Abschlussphase des nuklearen Brennstoffzyklus – die Anwendung des Prinzips „Erwägen und Vorgehen“ – bedeutet, dass der offene Brennstoffzyklus – d.h. die unmittelbare Unterbringung aus dem Atomkraftwerk stammender abgebrannter Brennstoffe – wird als Referenzszenario festgestellt, das zu den Kosteneinschätzungen als Grundlage dient bezüglich der aktuell betriebenen vier Blöcke. Man soll die einheimischen und internationalen Veränderungen auf dem Gebiet des Abschlusses des Brennstoffzyklus verfolgen (Erwägen), bei Bedarf müssen diese in die Zyklusabschlusspolitik integriert werden und gleichzeitig soll man im Thema der Standortauswahl für geologisches Tiefenlager vorgehen (Vorgehen).

Die Politik für Brennstoffzyklusabschluss enthält in Verbindung mit den einheimischen, nicht aus Atomkraftwerk stammenden abgebrannten Brennstoffen, dass Ungarn die verträglich sichergestellte Möglichkeit der Zurücklieferung nach Russland ausnutzt (siehe Anlage 2 [2]), auf die Weise, dass die sekundären Abfälle der Brennstoffverarbeitung in Russland bleiben.

### **2.3.2 Politik für die Entsorgung radioaktiver Abfälle**

Die Endlagerung der in Ungarn entstehenden schwach und mittel radioaktiven Abfälle muss in den in Ungarn errichteten Lagern für radioaktive Abfälle gelöst werden. Die Lagerung hoch radioaktiver Abfälle muss in Ungarn in einem Tiefenlager, der in einer stabilen geologischen Tiefenformation auszugestaltet ist, gelöst werden. Bei der Standortauswahl sowie bei der Ausgestaltung der Lager ist ein vorrangiges Gesichtspunkt, dass der Standort, das Gestein und die verwendeten technischen Lösungen – an die Eigenschaften der gelagerten Abfälle angepasst – die Isolierung der Abfälle von der biologischen Umwelt während der erwünschten Periode gemeinsam sicherstellen.

### **2.3.3 Politik bezüglich der Demontierung der Nuklearanlagen**

Die Genehmigungsinhaber sind verpflichtet, durch Erstellung, regelmäßige Überprüfung und bei Bedarf Aktualisierung des Demontierungsplans für Nuklearanlagen sicherzustellen, dass dieser die Veränderung der behördlichen Anforderungen und die Entwicklung der Technik verfolgt. Der Demontierungsplan muss die Zeitplanung der Demontierung – bei Bedarf die Zeitdauer der geschützten Bewahrung – im Einklang mit dem nationalen Programm enthalten,

sowie den an die langfristigen Vorstellungen der Standortnutzung angepassten Endzustand der Demontierung.

Sollten sich auf einem Standort auch mehrere nukleare Anlagen mit verschiedenen Genehmigungen befinden, müssen auch die Wechselwirkungen und Beziehungen unter den nuklearen Anlagen in allen für nukleare Anlagen spezifischen Abbauplänen berücksichtigt werden.

### **3 Einstufung, Entstehung und Bestandverzeichnis radioaktiver Abfälle**

In Ungarn ist die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlungen von Mitte des vergangenen Jahrhunderts in der Heilkunde sowohl zu Diagnostik- als auch zu Therapiezwecken weit verbreitet. Moderne Bildgestaltung und durch Strahlung sterilisierten medizinischen Mittel sind heutzutage unentbehrliche Methode und Mittel der modernen medizinischen Praxis. Die ionisierende Strahlung wird bei Verpackungsmaterialien von Lebensmitteln und bei Gewürzen, die aus fernen Tropenländern importiert werden, zur Zerstörung schadhafter Mikroorganismen erfolgreich eingesetzt. Die industrielle Radiographie wurde zu einem alltäglichen Verfahren in der Erschließung der Materialfehler von Maschinen und Bestandteilen sowie in der Vorbeugung der aus Materialfehlern entstehenden Betriebsstörungen.

Das am besten bekannte und bedeutendste Verwendungsgebiet von Atomenergie ist die Erzeugung elektrischer Energie. In Ungarn werden vier energetische Reaktoren jeweils mit einer elektrischen Nennleistung von 500 MW am Standort des Atomkraftwerks Paks betrieben, die langfristig etwa 36% des elektrischen Energieverbrauchs von Ungarn gewährleisten.

Das Parlament hat im Jahre 2014 das Gesetz Nr. II vom 2014 (im Weiteren Gesetz Nr. II vom 2014, siehe Anlage 2 [3]) über die Veröffentlichung des *Abkommens zwischen der Regierung Ungarns und der Regierung der Russischen Föderation über die Zusammenarbeit auf dem Gebiet der friedlichen Nutzung der Kernenergie* (im Weiteren: Abkommen) akzeptiert. Der Kernenergie kommt in Ungarn also in der Zukunft auch langfristig eine wichtige Rolle in der elektrischen Energieversorgung dadurch zu, dass am Standort Paks zwei neue Atomkraftwerkblöcke errichtet werden entsprechend dem Inhalt des Abkommens.

Wichtigen Forschungs- und Unterrichtszwecken dient der Forschungsreaktor des Forschungszentrums für Energiewissenschaften der Ungarischen Akademie der Wissenschaften (im Weiteren: Forschungsreaktor in Budapest) sowie der Unterrichtsreaktor des Instituts für Nukleartechnik (im Weiteren: Unterrichtsreaktor) an der Technischen und Wirtschaftswissenschaftlichen Universität von Budapest (im Weiteren: BME). Am Standort des Forschungsinstituts von Budapest ist auch die Produktion von in der Medizin und in der Industrie verwendeten radioaktiven Isotopen bedeutend.

Zusammenfassend kann also festgestellt werden, dass die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlungen der Gesellschaft zugutekommt und trägt zur Leistung der Volkswirtschaft in bedeutendem Maß bei. Daneben muss man auch beachten, dass die oben

stehenden Anwendungen mit der Entstehung radioaktiver Abfälle einhergehen, deren sichere Endlagerung eine auf Landesebene erscheinende Aufgabe ist.

### 3.1 Einstufung radioaktiver Abfälle

Die Anwender von Atomenergie teilen ihre Anlagen unter Rücksicht auf die Strahlungs- und Verschmutzungsverhältnisse in kontrollierte und überwachte Bereiche auf. Allgemeiner Grundsatz ist, dass Abfälle, die im kontrollierten Bereich entstehen, müssen als radioaktiv betrachtet werden, solange durch Messungen das Gegenteil nicht bewiesen wird. Das ist darum wichtig, denn das ungarische Recht ermöglicht die Befreiung der Stoffe mit sehr schwachem Radioaktivitätsgehalt von der behördlichen Überwachung. Das ist dann möglich, wenn nach der Befreiung die individuelle jährliche Strahlenbelastung aus der Wiederaufarbeitung der Stoffe beziehungsweise aus der Behandlung als nicht radioaktiver Abfälle über die effektive Dosis von 30  $\mu\text{Sv}$  nicht hinausgeht.

Aufgrund der Bestimmung des Atomgesetzes nennt man radioaktive Abfälle die radioaktiven Stoffe, die weiter nicht mehr gebraucht werden und aufgrund ihrer Strahlschutzeigenschaften nicht als gewöhnliche Abfälle entsorgt werden können, also können nicht befreit werden.

Die Einstufung der radioaktiven Abfälle kann aufgrund der Aktivität der in enthaltenen Isotope und ihrer charakteristischen Halbwertszeit gemäß Folgendem durchgeführt werden.

Als schwach oder mittel radioaktive Abfälle werden die radioaktiven Abfälle betrachtet, bei denen die Wärmeentwicklung bei der Unterbringung (und bei der Lagerung) vernachlässigt werden kann.<sup>1</sup>

- a) Kurzlebig sind diejenigen schwach oder mittel radioaktiven Abfälle, in denen die Halbwertszeit der Radionuklide 30 Jahre oder kürzere Zeit beträgt und nur in eingeschränkter Konzentration langlebige alphastrahlende Radionuklide enthalten.
- b) Langlebig sind diejenigen schwach oder mittel radioaktiven Abfälle, in denen die Halbwertszeit der Radionuklide und/oder die Konzentration alphastrahlender Radionuklide über die Grenzwerte der kurzlebigen radioaktiven Abfälle hinausgehen.

Hoch radioaktiv sind diejenigen radioaktiven Abfälle, deren Wärmeerzeugung bei der Planung der Lagerung und Unterbringung sowie bei der Betreibung beachtet werden muss<sup>1</sup>.

Die gültigen ungarischen Rechtregeln enthalten zurzeit die Klasse der sehr schwach radioaktiven Abfälle, die aber im Kategorisierungssystem der Internationalen Atomenergie-Organisation enthalten ist. Mehrere Studien wurden gefertigt um darzustellen, unter welchen Umständen und aufgrund welcher Anforderungen es zweckmäßig wäre, in Ungarn die Kategorie der sehr schwach radioaktiven Abfälle einzuführen. In Anbetracht der bisher gefertigten Analyse soll eine Zusammenfassung erstellt werden, aufgrund welcher die erforderlichen Abänderungen der Rechtsregeln eingeleitet werden können und das Konzept

---

<sup>1</sup> Die Norm MSZ 14344-1:2004 bestimmt den Wärmeerzeugungswert ( $2 \text{ kW/m}^3$ ), der für die Zwischenlagerung und/oder die Endlagerung als bedeutend betrachtet wird und muss so berücksichtigt werden.



für die Endlagerung der sehr schwach radioaktiven Abfälle – unter Rücksichtnahme auf den Grundsatz der Verhältnismäßigkeit (graded approach) – ausgearbeitet werden kann. Nach der Ausarbeitung des Konzepts muss das nationale Programm mit diesem Gebiet erweitert werden.

## **3.2 Anwender der Atomenergie – „Abfallerzeuger“**

In den nachfolgenden Kapiteln werden wir die Anlagen und Tätigkeiten in einheitlicher Struktur überblicken und charakterisieren, die zur Entstehung radioaktiver Abfälle beitragen. Wir stellen den zu erwartenden Zeitrahmen ihrer Betreuung dar, geben die Menge der infolge ihres bisherigen Betriebs entstandenen radioaktiven Abfälle an und gehen kurz auch auf die Lagerstellen von diesen ein. Wir geben die Jahresmenge der entstehenden radioaktiven Abfälle pro Anlage und/oder für die Gesamtheit bestimmter in der Abfallerzeugung teilnehmender Branchen an.

### **3.2.1 Zeitintervallen der Betreuung der Anlagen**

Der erste Block des Atomkraftwerks Paks wurde 1982, der zweite 1984, der dritte 1986 und der vierte 1987 in Betrieb gesetzt, so werden am Standort heute insgesamt vier Blöcke Typ VVER- 440/213 betrieben. Die Verlängerung der Betriebsdauer des Atomkraftwerks von 30 Jahren auf 50 Jahre ist im Gange (für die Betriebszeitverlängerung der Blöcke 1 und 2 hat die Überwachungsorganisation für Atomenergie die Genehmigung bereits erteilt, die Entscheidung bezüglich der weiteren Blöcke ist im Späteren zu erwarten), so wird der Betreiber der vierte Block des Atomkraftwerks voraussichtlich im Jahre 2037 stilllegen. In Anbetracht des nationalen Programms wurde die Betriebsdauer von 50 Jahren der zurzeit betriebenen vier Blöcke als Referenzfall in Rücksicht genommen.

Laut des Gesetzes II vom Jahre 2014 werden am Standort Paks zwei neue Kernkraftblöcke errichtet. Die zwei Blöcke Typ VVER-1200 werden voraussichtlich 2025 und 2026 in Betrieb gesetzt, ihre geplante Betriebsdauer beträgt 60 Jahre.

Der Forschungsreaktor in Budapest wurde 1959 gebaut, dann 1986 stillgelegt und bis 1992 einer umfangreichen Rekonstruktion unterzogen. Nach der Umgestaltung erhielt der neue Reaktor die Betriebsgenehmigung für 30 Jahre, die Genehmigung gilt bis 2023. Eine Verlängerung der Lebensdauer des Forschungsreaktors um 10 Jahre kann auch in Frage kommen, also eine Verlängerung bis 2033, dafür bieten die technischen Bedingungen eine reale Möglichkeit. Unter Berücksichtigung des aktuellen Gebrauchs sichert der zur Verfügung stehende Brennstoff die Betreuung des Reaktors bis 2019. Bei Erstellung des nationalen Programms wurde die Betreuung des Forschungsreaktors von Budapest bis 2023 als Referenzfall berücksichtigt.

Der vom Institut für Nukleartechnik an der Technischen und Wirtschaftswissenschaftlichen Universität von Budapest, im Weiteren: BME NTI) betriebene Unterrichtsreaktor wurde 1971

in Betrieb gesetzt. Die voraussichtliche Betriebsdauer des Unterrichtsreaktors ist zurzeit noch nicht bestimmt. Die für die Lebensdauer wichtigen Bestandteile und Baueinheiten sind austauschbar, erneuerbar. Die Verlängerung der Betriebsgenehmigung der Anlage wird der Genehmigungsinhaber während der im Jahre 2017 fälligen nächsten Regelmäßigen Sicherheitsüberwachung bei der Überwachungsorganisation der Atomenergie einleiten. Sollte die zuständige Behörde die Betriebsgenehmigung des Unterrichtsreaktors aufgrund der Ergebnisse der Regelmäßigen Sicherheitsüberwachung um 10 Jahre verlängern, so kann der Zeitpunkt der endgültigen Stilllegung 2027 sein. Dieser Zeitpunkt wurde im nationalen Programm als Referenzfall berücksichtigt. Man muss aber betonen, dass dieser Zeitpunkt nicht aufgrund technischer, nuklearer Gesichtspunkte oder Gesichtspunkte der Alterung oder des Strahlenschutzes bestimmt wurde. Wenn der Tausch, Renovierung bestimmter technischer Einrichtungen des Unterrichtsreaktors bis zu diesem Zeitpunkt erfolgen kann, dann kann der Reaktor – eventuell mit einem Tausch der Brennstofffüllung – voraussichtlich noch mehrere Jahrzehnte lang betrieben werden. Die diesbezügliche Entscheidung muss später getroffen werden, wobei Folgende beachtet werden müssen:

- Zurzeit spielt der Unterrichtsreaktor in der ungarischen und der internationalen nuklearen Bildung eine zentrale Rolle und seine Betreibung kann langfristig nötig sein.
- Da in Ungarn das Atomkraftwerk Paks noch Jahrzehnte lang betrieben wird, werden neue Atomkraftwerksblöcke errichtet und zeigt das Zeitfenster der Programme für Demontierung und Entsorgung radioaktiver Abfälle über die oben stehenden Zeitpunkte hinaus, wird die Sicherstellung des Nachwuchses und die Berufsbildung nuklearer Fachkräfte langfristig notwendig sein.

Die oben stehenden Gesichtspunkte gelten auch für den Forschungsreaktor in Budapest, der den Hintergrund im Bereich Wissenschaft und Forschung für die nukleare Industrie sichert. Die Entscheidungen in Verbindung mit der Betriebsdauer des Forschungsreaktors in Budapest und des Unterrichtsreaktors sind kein Gegenstand des aktuellen nationalen Programms, die Annahmen über die Betriebsdauer sind in der Demontierungszeitplanung und in der Einschätzung der entstehenden Menge radioaktiver Abfälle beziehungsweise abgebrannter Brennstoffe entscheidend.

### **3.2.2 Entstehung radioaktiver Abfälle im Atomkraftwerk Paks**

#### ***3.2.2.1 Quellen und Behandlung radioaktiver Abfälle***

Beim Betrieb des Atomkraftwerks Paks entstehen feste und flüssige radioaktive Abfälle, für deren Sammeln und Entsorgung man sorgen muss.

Die wichtigsten Quellen der schwach und mittel radioaktiven festen Abfälle sind die bei der Betreibung und Instandhaltung verschmutzten Schutzkleidungen, Schutzausrüstungen,

Werkzeuge, Kunststofffolien; sowie die verschmutzten oder radioaktivierten Einrichtungen, Rohrleitungen, Wärmeisolierungen, usw., die aus der betriebenen Anlage demontiert werden. Darüber hinaus tragen zur Festabfallmenge die Schlämme, beziehungsweise auch die aus Umbauarbeiten stammenden Bruchstücke, Metallabfälle, Kabel bei.

Feste Abfälle werden unter Berücksichtigung der späteren Behandlungsmöglichkeiten selektiert gesammelt. Die abgenutzten – in der kontrollierten Zone verwendeten – individuellen und zusätzlichen Schutzausrüstungen ergeben den entscheidenden Teil der radioaktiven Abfälle, die in Säcken gesammelt werden. Die verschiedenen verbrauchten Bestandteile, Konstruktionselemente, Metallabfälle sowie die verschmutzten Arbeitsmittel, die wegen der Masse oder der Größe nicht in Kunststoffsäcke gelegt werden können, werden in 200 l Tonnen gesammelt.

Die Volumenreduzierung der verdichtbaren radioaktiven Abfälle erfolgt mit einer 500 kN Presse, wo das Volumen der behandelten Abfälle durchschnittlich auf ein Fünftel zurückgeht. Die nicht verdichtbaren radioaktiven Abfälle kommen in 200 l Tonnen unter optimaler Ausnutzung des Volumens. Die entstandenen radioaktiven Schlämme setzen sich in 200 l Metalltonnen ab, dann wird das Flüssigkeitsgehalt entfernt.

Nach diesen Behandlungsschritten werden die festen radioaktiven Abfälle auf dem Gebiet des Atomkraftwerks zwischengelagert. Die schwach und mittel radioaktiven Abfälle werden meistens in 200 l Tonnen in den Lagerräumlichkeiten abgestellt, während zur Lagerung der hoch radioaktiven Abfälle Bohrbrunnen dienen.

Flüssige radioaktive Abfälle entstehen in erster Linie während der Reinigung des Primärkreiswassers, bei Dekontaminierung von Räumlichkeiten und Einrichtungen.

Die in kleiner Menge entstehenden verschmutzten Öle werden in 200 l Metalltonnen gesammelt, danach werden die radioaktiven Isotope anhand Gravitationsfiltration durch eine Schicht Kieselgur (Diatomit) entfernt, dann werden die gereinigten Öle nach der Prüfung befreit und als inaktive Abfälle entsorgt.

Die im Primärkreis des Atomkraftwerks entstehenden flüssigen Abfälle auf Wasserbasis werden im speziellen Kanalsystem gesammelt und ins Sickerwassersystem weitergeleitet. Das gesammelte Sickerwasser wird nach Absetzen, mechanischer Filtration und chemischer Behandlung eingedampft.

In der kontrollierten Zone des Atomkraftwerks werden das beim Eindampfen zurückgebliebene Konzentrat (Eindampfrückstand), das gebrauchte Ionenaustauscherharz und die Säuerungslösung für den Evaporator sowie das zur Behandlung verschmutzter Öle benutzte ölige Kieselgur – in 200 l Tonnen – in getrennten Behältern zwischengelagert.

Beim Betrieb des Atomkraftwerks Paks entstehen jährlich verhältnismäßig in kleiner Menge ( $5 \text{ m}^3/\text{Jahr}$ ) hoch radioaktive Abfälle,<sup>2</sup> die auf dem Gebiet des Atomkraftwerks in den zu

---

<sup>2</sup> In der Betriebsführungspraxis von Kernkraftwerk Paks werden aufgrund der Strahlenschutzgesichtspunkte die Abfälle als „hoch radioaktiv“ gekennzeichnet, deren Dosisleistung auf der Oberfläche mehr als 10 mSv/h ist. Die Behandlung dieser Abfälle erfolgt bei der Demontierung, da werden sie erneut eingestuft und man entscheidet darüber, welcher Teil später in geologischen Tiefenlagern untergebracht werden muss. Auf dieser Grundlage

diesem Zweck ausgestalteten Bohrbrunnen vorübergehend gelagert werden. Die Menge dieser Abfälle betrug am 01. 01. 2015 100,6 m<sup>3</sup>. Bis zum Ende der Betriebsdauer muss man mit der Entstehung von weiteren 115 m<sup>3</sup> hoch radioaktiver Abfälle rechnen (in dieser Menge sind die bei der Betriebsstörung von Block 2 entstandenen hoch radioaktiven Abfälle schon enthalten). Während der Betriebsdauer von 50 Jahren insgesamt entstehende hoch radioaktive Abfälle von einem voraussichtlichen Volumen von 215,6 m<sup>3</sup> werden im Interesse der Endlagerung gemäß den Plänen in Containern gesammelt und nach der Demontierung mit Beton ausgegossen.

Tabelle 1 zeigt die am 01. 01. 2015 auf dem Gebiet des Atomkraftwerks Paks zur Verfügung stehenden Lagerkapazitäten sowie die Menge gelagerter radioaktiver Abfälle.

*Tabelle 1: Lagerkapazitäten im Atomkraftwerk Paks und die Mengen der gelagerten radioaktiven Abfälle am 01. 01. 2015*

<b>Abfalltyp</b>		<b>Kapazität</b>	<b>Gelagerte Menge</b>
<b>Schwach und mittel radioaktive Abfälle</b>	flüssig (in Behältern)	10 020 m <sup>3</sup>	8 200 m <sup>3</sup>
	fest	200 l Tonne	10 741 Stk.
		großformatiger Abfall	800 m <sup>3</sup>
<b>Hoch radioaktive Abfälle (in Bohrbrunnen)</b>		222,8 m <sup>3</sup>	100,6 m <sup>3</sup>

Im Atomkraftwerk Paks wurde die Technologie zur Flüssigabfallverarbeitung (im Weiteren: FHF-Technologie) im Interesse der drastischen Volumenreduzierung der flüssigen Abfälle in Betrieb gesetzt. Durch betriebliche Anwendung dieser Technologie wird der Eindampfst, der den größten Teil der flüssigen radioaktiven Abfälle ausmacht – nach Entfernung der Cäsium- und Kobaltisotope sowie nach Rückgewinnung des Borsäuregehalts – nach Prüfung mit im Primärkreis entstehenden sonstigen auslassbaren Wassern ausgelassen. Die in Form von Borax rückgewonnene Borsäure wird nach der Befreiung als inaktiver gefährlicher Abfall entsorgt. Bei der Verarbeitung entstehen sekundäre radioaktive Abfälle (Nachfilter zur Kobaltentfernung, Filterungssäule für Cäsium, usw.), deren Zwischenlagerung in 200 l Tonnen oder speziellen Containern erfolgt.

Infolge der Betriebsstörung von Block 2 des Atomkraftwerks Paks im Jahre 2003, die mit Verletzung des nuklearen Brennstoffs verbunden war, entstanden mehrere Abfalltypen, mit denen man beim Normalbetrieb nicht rechnen musste. Während der Behandlung und Beseitigung der Betriebsstörungssituation entstanden in erheblicher Menge mit alphastrahlenden Isotopen verschmutztes gebrauchtes Ionentauscherharz, Eindampfst, dekontaminierende Lösung und feste radioaktive Abfälle. Erheblicher Teil von diesen wurde getrennt gesammelt und zwischengelagert (dekontaminierende Lösung, Eindampfst, große Einrichtungen beziehungsweise feste Abfälle). Bei von Betriebsstörung betroffenen Eindampfsten wird die FHF-Technologie nicht verwendet.

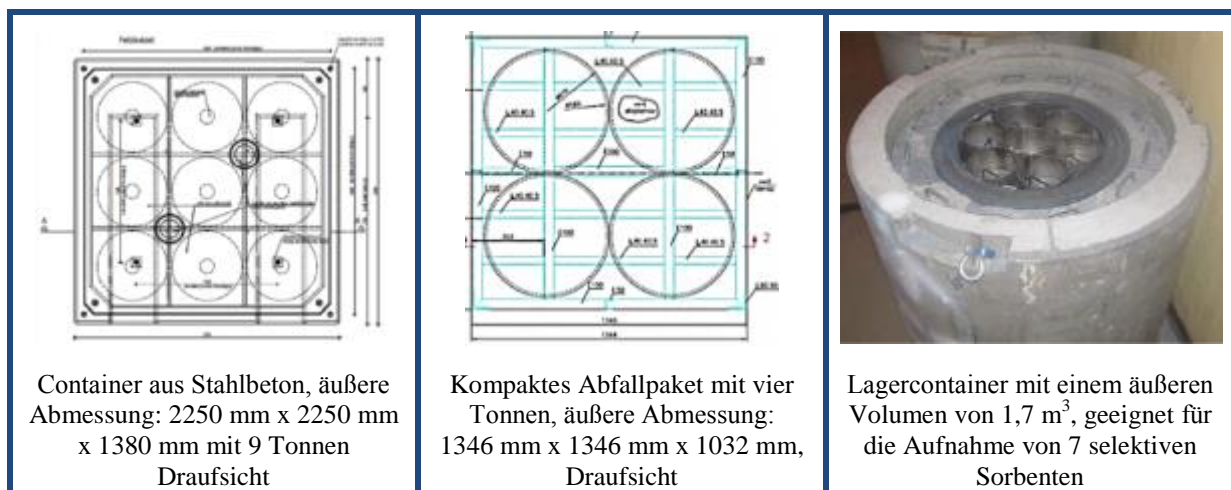
---

kann die für die aus der Betriebsführung des Kernkraftwerks stammenden hoch radioaktiven Abfälle angegebene Zahl als konservative obere Schätzung betrachtet werden.

### 3.2.2.2 Menge aus der Betriebsführung stammender Abfälle, die endgelagert werden

Ein Teil der schwach und mittel radioaktiven festen Abfälle des Atomkraftwerks Paks wurden 1983-1989 sowie 1992-1996 ins Verarbeitungswerk und Lager radioaktiver Abfälle in Püspökszilágy (im Weiteren: RHFT) zur Endlagerung geliefert. Seitdem nimmt diese Lagerstelle nur radioaktive Abfälle institutioneller Herkunft auf (siehe Kapitel 6.1). Von der Kapazität von RHFT hat das Atomkraftwerk etwa 2500 m<sup>3</sup> Bruttovolumen besetzt, diese Menge erscheint dort.

Mit der Inbetriebsetzung der Nationalen Lageranlage für radioaktive Abfälle in Bataapáti (im Weiteren: NRHT) im Jahre 2008 begann die Übergabe der zwischen 1997 und 2007 entstandenen verdichteten radioaktiven Abfälle zur Endlagerung. Bis 01. 01. 2015 wurden insgesamt 5480 Stk. 200 t Tonnen in die NRHT übergeliefert. Davon werden 2231 Stk. Tonnen in dem technologischen Gebäude auf der Oberfläche zwischengelagert, während 3249 Stk. Tonnen in 361 Stk. Stahlbetoncontainern (Siehe Abbildung 1, 1. Säule) endgelagert wurden.



*Abbildung 2: Typische Abfallpakete für die Unterbringung von schwach und mittel radioaktiven Abfällen aus dem Atomkraftwerk (Bemerkung: die Maßstäbe auf den Abbildungen einzelnen Container sind unterschiedlich)*

Atomkraftwerk Paks verarbeitet gemäß der im Kapitel 3.2.2.1 dargestellten Praxis der Abfallbehandlung den entscheidenden Anteil der flüssigen Abfälle mit der FHF-Technologie, die eine erhebliche Volumenreduzierung ergibt. bis Ende 2017 plant das Atomkraftwerk Paks die Errichtung und Inbetriebsetzung von Zementierungstechnologie zur Verfestigung von flüssigen radioaktiven Abfällen, die mit FHF-Technologie nicht zu verarbeiten sind (z.B. Eindampfrest aus Betriebsstörung, Schlämme, dekontaminierende Lösung). Die Zementierung erfolgt in den an das neue Unterbringungskonzept von NRHT angepassten Stahlcontainern. Das kann auf die Weise erfüllt werden, dass der Stahlcontainer nur aus

flüssigen Abfällen hergestellten Zementleim enthält, beziehungsweise so, dass in einen Container vier Tonnen gestellt werden (siehe Abbildung 3, 2. Kolumne) und der Zementleim innerhalb des Containers – beziehungsweise bei nicht verdichteten Abfällen innerhalb der Tonne – nur die Leerstellen ausfüllt. Der Stahlcontainer, der sowohl Tonnen als auch Zementleim enthält, wird kompaktes Abfallpaket genannt, in den von den flüssigen Abfallströmen Eindampfstoff aus Betriebsstörung, Schlämme, dekontaminierende Lösung und die Säurelösung des Evaporators, während von den festen Abfallströmen die verdichteten und nicht verdichteten, in Tonnen abgestellten Abfälle kommen können. Die Zementierung der gebrauchten Ionentauscherharze erfolgt in dem bei den kompakten Abfallpaketen dargestellten dünnwandigen Stahlcontainer am Ende der Betriebsdauer der Blöcke.

Gemäß den Plänen werden von den festen Abfällen die, die kleinere Radioaktivität aufzeigen, unmittelbar – ohne weitere Konditionierung und Verpackung – in 200 l Tonnen in NRHT endgelagert. Die Abfälle, die man wegen ihrer großen Abmessung nicht zerteilen kann, um sie in 200 l Tonnen einlegen zu können, werden im Atomkraftwerk Paks zwischengelagert sowie gemäß den aktuellen Plänen später, bei der Demontierung in größeren Containern in die NRHT geliefert. Zum Kreis der festen Abfälle gehören die Cäsium- und sonstige Filterpatronen, die im Späteren in speziellen Lagercontainern mit Kreisabschnitt (in Lagercontainern für selektiven Sorbent, siehe Abbildung 4, 3. Kolumne) untergebracht werden.

Die 2. Tabelle zeigt die Gesamtmenge der während der 50 Jahre Betriebsdauer im Atomkraftwerk Paks entstehenden und in NRHT unterzubringenden radioaktiven Abfälle. Diese Menge enthält die früher ins RHFT gelieferte Abfallmenge nicht.

*Tabelle 2: Menge der im Atomkraftwerk über 50 Jahre Betriebsdauer entstehenden, in NRHT zu lagernden radioaktiven Abfälle*

<b>Art der Unterbringung</b>	<b>Zu lagerndes Volumen (m<sup>3</sup>)</b>
Unterbringung im Stahlbeton Container (9 Tonnen/Container)	995*
Verdichtete feste Abfälle in 200 l Tonne	1129*
Kompaktes Abfallpaket (4 Tonnen/Container + aktives Zementleim aus flüssigen Abfällen)	10538
Zementierte flüssige Abfälle im dünnwandigen Stahlcontainer	821
Zementiertes Ionentauscherharz im dünnwandigen Stahlcontainer	1390
Großformatige Abfälle im Container	800
Cäsium selektiver Sorbent im Betoncontainer mit Kreisabschnitt	51
<b>Insgesamt</b>	<b>15724</b>

\*Bedeutet das gesamte Bruttovolumen der Tonnen mit 200 l nützlichem Volumen (0,213 m<sup>3</sup>/Tonne).

### 3.2.2.3 Abfälle aus der Demontierung des Atomkraftwerks Paks

Man muss bei den Demontierungs- und Abbauarbeiten mit der Entstehung einer verhältnismäßig großen Menge von radioaktiven Abfällen rechnen. Bei der Demontierung werden die Abfälle selektiv gesammelt. Die selektive Sammlung umfasst neben Berücksichtigung der Stoffsorten auch die physisch-chemischen Eigenschaften sowie die Art und voraussichtliches Ausmaß der radioaktiven Verschmutzung.

Unter Rücksicht auf die Demontierungspolitik des Atomkraftwerks Paks – die 20 Jahre geschützte Bewahrung für den Primärkreis und eine anschließende Demontierung vorsieht – wurde in dem vorangehenden Demontierungsplan die beim Abbau des Atomkraftwerkes entstehende Menge radioaktiver Abfälle bestimmt, die in der Tabelle 3 zusammengefasst wurde.

*Tabelle 3: Gesamtzahl und Menge der beim Abbau des Atomkraftwerks Paks entstehenden und endzulagernden radioaktiven Abfallpakete*

Abfallklasse	VERZÖGERTE DEMONTIERUNG		
	1,8 m <sup>3</sup> Anzahl der Container (Stk.)	3,6 m <sup>3</sup> Anzahl der Container (Stk.)	Gesamtvolumen (m <sup>3</sup> )
Schwach und mittel radioaktive Abfälle	9 147	2 846	27 044*
Hoch radioaktive Abfälle	40	0	73
Insgesamt	9 187	2 846	27 117

\* In Ungarn wurde die Kategorie der Abfälle mit sehr schwacher Radioaktivität noch nicht eingeführt, aufgrund internationaler Angaben hat man eingeschätzt, wieviel Prozent der Demontierungsabfälle unter diese Kategorie gehören könnte. Die Analysen zeigten, dass etwas mehr als 80% der Demontierungsabfälle Abfälle mit sehr schwacher Radioaktivität wären.

Für die Endlagerung der bei der Demontierung entstehenden Abfälle sind die bei Abfällen aus der Betriebsführung verwendeten, dünnwandigen ~1,8 m<sup>3</sup> Stahlcontainer, beziehungsweise ihre doppelgroßen Varianten vorgesehen, damit sie in NRHT optimal abgestellt werden können.

### 3.2.3 Entstehung radioaktiver Abfälle im Forschungsreaktor von Budapest

Im Falle des Forschungsreaktors von Budapest entstehen im Normalbetrieb typischerweise aus zwei Quellen schwach und mittel radioaktive feste Abfälle:

- radioaktive Aluminiumkapselreste während der Isotopenherstellung;
- sowie bei den Routinearbeiten und der Instandhaltung verschmutzte Schutzausrüstung (Gummihandschuhe, Schuhschutz, Schutzkleidung usw.) sowie Kunststoffolie, Filterpapier.

Jährlich entstehen ungefähr  $2 \text{ m}^3$  feste radioaktive Abfälle, die in Kunststoffsäcken gesammelt, dann mit manueller hydraulischer Presse – ungefähr auf 50% des Volumens – verdichtet in 200 l Plattentonnen gelagert werden.

Die beim Betrieb entstehenden und in kleinem Maß radioaktiven flüssigen Abfallwasser werden in 2 Stk.  $150 \text{ m}^3$  Behältern gesammelt. Vom flüssigen Abfallwasser entsteht im Normalfall – typischerweise bei der Probe der Rückspeisesysteme, sowie bei Durchführung der Dekontaminationsaufgaben – jährlich  $10\text{-}20 \text{ m}^3$ , das nach Reinigung durch Ionentausch unter Einhaltung der einschlägigen Einschränkungen ausgelassen wird.

Beim Betrieb entsteht im Jahresdurchschnitt ungefähr 100 l radioaktives Ionentauschharz, sowie häufen sich auf dem Boden der Behälter für flüssige Abfälle bis zum Ende der Betriebsdauer einige  $\text{m}^3$  Schlämme an. Die beim Betrieb entstehenden radioaktiven Abfälle werden regelmäßig ins RHFT in Püspökszilágy zur Endlagerung geliefert. Am 01. Januar 2015 hat man am Standort des Forschungsreaktors von Budapest  $2 \text{ m}^3$  feste und  $0,5 \text{ m}^3$  zu verfestigende radioaktive Abfälle gelagert. Bis zum im nationalen Programm über die Stilllegung berücksichtigten Referenzzeitpunkt 2023 werden voraussichtlich weniger als  $10 \text{ m}^3$  zu lagernde schwach und mittel radioaktive Abfälle beim Betrieb entstehen.

Bei der Demontierung des Forschungsreaktors von Budapest muss man mit der Entstehung von annähernd  $260 \text{ m}^3$  schwach und mittel radioaktiven Abfällen rechnen.

Beim Betrieb und bei der späteren Demontierung des Forschungsreaktors von Budapest entstehen keine hoch radioaktiven Abfälle.

### **3.2.4 Entstehung radioaktiver Abfälle im Unterrichtsreaktor**

Im Gebäude des Unterrichtsreaktors entstehen radioaktive Abfälle einerseits im Zusammenhang mit dem Betrieb des Reaktors, andererseits bei der Tätigkeit der im Gebäude befindlichen Laboratorien. Die Abfälle werden nachfolgend gemäß den charakteristischen Weisen und Mengen der Entstehung sowie den Erscheinungsformen (Aggregatzustand) gruppiert dargestellt.

Feste radioaktive Abfälle entstehen im Unterrichtsreaktor durch Entfernung bestimmter Bestandteile, Mittel des Reaktors; durch Bestrahlung beziehungsweise Verarbeitung von Proben in Beziehung mit dem Unterricht und der Forschung; durch Nutzung der Verbrauchsgüter der Laboratorien; sowie durch Ausmusterung der geschlossenen radioaktiven Strahlenquellen. Verdichtbare und nicht verdichtbare radioaktive Abfälle werden in Sammelgefäßen für radioaktive Abfälle (in Kunststoffsäcken) getrennt gesammelt und die Säcke, nach dem sie vollgefüllt werden, kommen abgeschlossen ins Lager für radioaktive Abfälle. Von festen radioaktiven Abfällen entstehen jährlich durchschnittlich 6 Säcke (pro Sack höchstens 100 l), die Masse der Säcke beträgt typisch 3-8 kg. Die Abfälle (Gefäße aus Kunststoff oder Glas, bestrahlte Proben und ihre Verarbeitungsreste, Gummihandschuhe, Papiertuch, usw.) enthalten verdichtbare, beziehungsweise nicht verdichtbare „Laborabfälle“. Die Menge der entstehenden Abfälle hängt im großen Maße vom Charakter und von der Menge der Unterrichts- und Forschungsaufgaben im gegebenen Jahr.



Die potentiell radioaktiven Flüssigkeiten (aus dem Reaktorbehälter, aus dem Wasserschutz der Bestrahlungskanäle, aus den Spülbecken der radiochemischen Laboratorien, aus chemischen Nischen, usw.) kommen durch das Abfallwassernetzwerk des Reaktorgebäudes in einen Prüfbehälter. Nach radiologischer Einstufung, oder im begründeten Fall nach Reinigung ist der Großteil von diesen auszulassen. Die bei in Laboratorien durchgeführten Aufgaben entstehenden und als radioaktive Abfälle betrachteten Lösungen (wässrige Lösungen mit langer Halbwertszeit, organische (nicht wässrige) Lösungen, Lösungen mit Fluorwasserstoffgehalt) werden in getrennten Sammelgefäßen in den radiochemischen Laboratorien gesammelt, beziehungsweise im Lager radioaktiver Abfälle gesammelt. Durchschnittlich entstehen jährlich einige Liter flüssige radioaktive Abfälle.

Die beim Betrieb entstehenden radioaktiven Abfälle werden zur Endlagerung regelmäßig ins RHFT in Püspökszilágy geliefert. Im Unterrichtsreaktor waren am 01. 01. 2015 145 kg feste und 210 l flüssige schwach und mittel radioaktive Abfälle gelagert. Diese radioaktiven Abfälle ergeben nach Verdichtung beziehungsweise Konditionierung – die am Standort von RHFT durchgeführt werden – etwa 1 m<sup>3</sup> unterzubringende Menge. Bei Erstellung des vorhandenen nationalen Programms wurde als Zeitpunkt der Stilllegung des Unterrichtsreaktors 2027 als Referenzdatum berücksichtigt (siehe Kapitel 3.2.1). Aufgrund diesbezüglicher Schätzungen muss man während des weiteren Betriebs des Unterrichtsreaktors voraussichtlich mit der Entstehung weiterer 5-6 m<sup>3</sup> schwach und mittel radioaktiver Abfälle rechnen.

Aus der Demontierung des Unterrichtsreaktors entstehen voraussichtlich etwa weitere 50 m<sup>3</sup> schwach und mittel radioaktive Abfälle.

Beim Betrieb und bei der späteren Demontierung des Unterrichtsreaktors entstehen keine hoch radioaktiven Abfälle.

### **3.2.5 Entstehung institutioneller radioaktiver Abfälle**

Die nicht im Atomkraftwerk entstehenden schwach und mittel radioaktiven (mit anderem Namen institutionellen) Abfälle sind auch Teil der Gesamtmenge der in Ungarn entstehenden radioaktiven Abfälle. Die institutionellen radioaktiven Abfälle entstehen typischerweise in Krankenhäusern, Laboratorien und bei Industrieunternehmen in Form von schwach und mittel radioaktiven Abfällen, benutzten Strahlenquellen sowie aus Rauchsensoren demontierten Strahlenquellen. Institutionelle Abfälle entstehen auch beim Betrieb und bei der späteren Demontierung des in Kapiteln 3.2.3 und 3.2.4 dargestellten Forschungsreaktors in Budapest beziehungsweise Unterrichtsreaktors, aber diese Anlagen wurden von ihrer Bedeutung her in getrennten Kapiteln hervorgehoben.

Aufgrund der zur Verfügung stehenden Angaben des vom OAH geführten, der Verordnung 11/2010 (III. 4.) KHEM über die Ordnung des Registers radioaktiver Stoffe und ihrer Prüfung, sowie über die damit verbundene Datenlieferung entsprechenden Zentralregisters (im Weiteren: Zentralregister) gibt es in Ungarn hinsichtlich der in Institutionen benutzten radioaktiven Stoffe im Moment (01. 01. 2015) nahezu halbttausend Genehmigungsinhaber für

radioaktive Stoffe und insgesamt ungefähr 7000 geschlossene Strahlenquellen. Diese heute noch benutzten radioaktiven Stoffe und Strahlenquellen sind eigentlich alle potenziellen institutionellen radioaktiven Abfälle, mit denen man in der näheren und fernerer Zukunft rechnen muss.

Aufgrund der Angaben des Zentralregisters besitzen etwa hundert Genehmigungsinhaber geschlossene beziehungsweise offene Strahlenquellen sowie – nicht zu weiterem Verbrauch bestimmte – bereits als radioaktive Abfälle registrierte radioaktive Stoffe, deren Verteilung auf Abbildung **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** veranschaulicht wurde. Bei manchen Genehmigungsinhabern kommen alle drei Sorten, also geschlossene und offene Strahlenquellen sowie radioaktive Abfälle gleichzeitig vor.

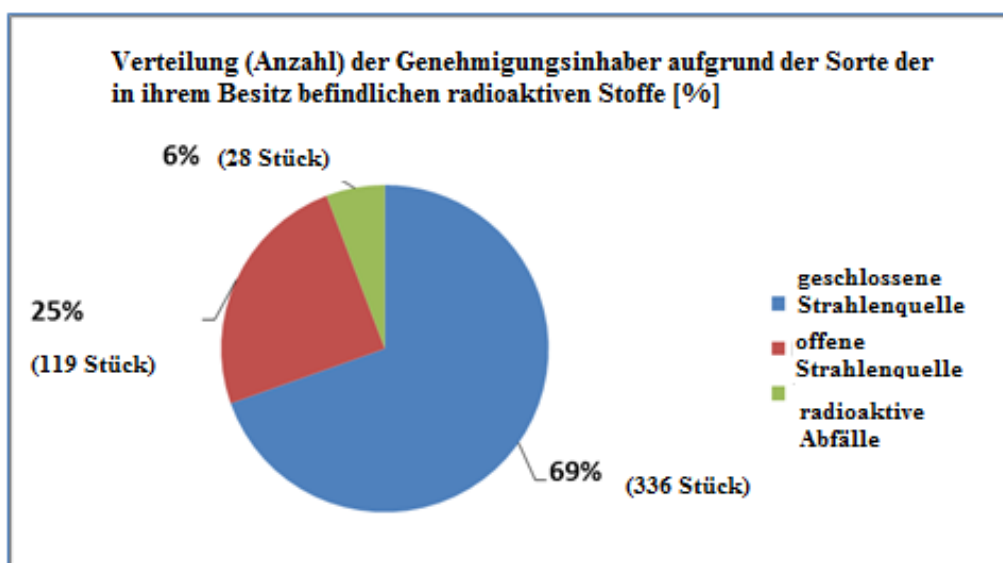


Abbildung 5: Verteilung (Anzahl) der Genehmigungsinhaber aufgrund der Sorte der in ihrem Besitz befindlichen radioaktiven Stoffe [%], Quelle: Zentralregister

Die Aktualität der Datenbasis wird dadurch gewährt, dass die Genehmigungsinhaber im Falle der geschlossenen Strahlenquellen innerhalb von 15 Tagen nach der in ihrem Bestand eingetretenen Änderung für das Zentralregister Daten liefern müssen, während im Falle der offenen Strahlenquellen und der radioaktiven Abfälle die Zeitdauer zwischen zwei Meldungen 12 Monate nicht überschreiten darf.

Abbildung 3 veranschaulicht die prozentuale Verteilung der im Zentralregister zurzeit registrierten Genehmigungsinhaber aufgrund des Verbrauchs radioaktiver Stoffe der verschiedenen Branchen. Aufgrund Abbildung 6 machen die auf den Gebieten Industrie und Gesundheitswesen verbrauchten radioaktiven Stoffe den größten Teil der Angaben im Register aus, so werden diese im Späteren den größten Teil der institutionellen radioaktiven Abfälle bedeuten.

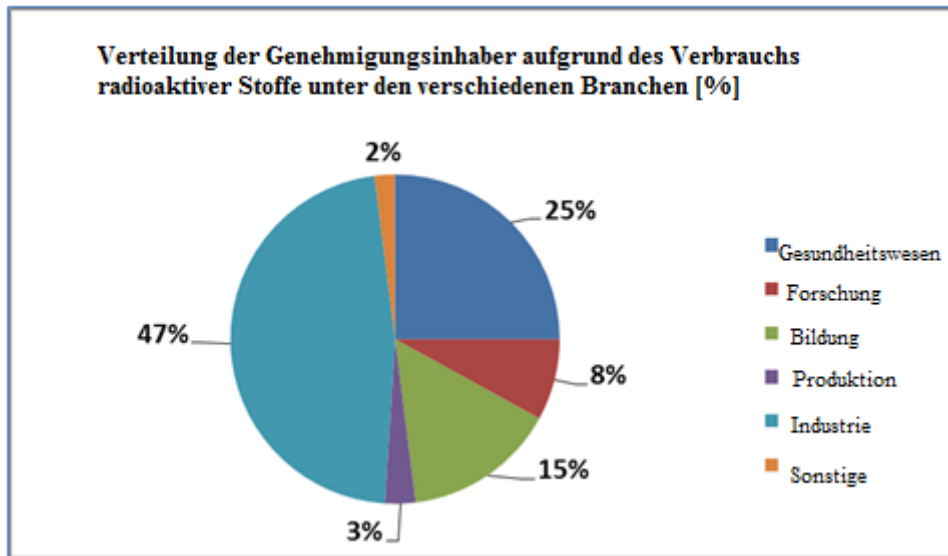


Abbildung 7: Verteilung der Genehmigungsinhaber aufgrund des Verbrauchs radioaktiver Stoffe unter den verschiedenen Branchen [%], Quelle: Zentralregister

In Ungarn werden als geschlossene Strahlenquelle meistens die radioaktiven Isotope Co-60, Cs-137 und Am-241 verwendet, aber neben ihnen ist die Verwendung von I-125 und Ir-192 Isotopen auch nicht vernachlässigbar. Von den bei den Genehmigungsinhabern im Gebrauch befindlichen geschlossenen Strahlenquellen sind aufgrund der gesamten Aktivität Co-60, Cs-137 und Ir-192 die bedeutendsten Isotope. Unter den offenen radioaktiven Zubereitungen kommen am häufigsten die Isotope I-125, C-14, H-3 und I-131 vor.

Die Institute lassen die entstehenden radioaktiven Abfälle in den meisten Fällen auf den Standort von RHFT liefern. Im Besitz der entsprechenden Genehmigungen können die Genehmigungsinhaber die entstandenen radioaktiven Abfälle vorübergehend auch selbst lagern, die Menge dieser Abfälle ist aber vernachlässigbar im Vergleich zum gesamten Landesbestand. Aufgrund der zurzeit zur Verfügung stehenden Angaben des Zentralregisters wurden nahezu bei 30 Genehmigungsinhabern institutionelle radioaktive Abfälle aus verschiedenen Verwendungen aufgezeichnet. Auf Abbildung **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** ist die Verteilung der Entstehung institutioneller Abfälle aufgrund der Radioaktivität nach den Branchen in Prozent zu sehen. Aufgrund der zurzeit zur Verfügung stehenden Angaben des Zentralregisters erscheinen ungefähr 40 verschiedene radioaktive Isotope unter den Abfällen, von denen Am-241, C-14, Co-60, Cs-137 und H-3 sind am meisten charakteristisch.

Aufgrund der Analyse der in den vergangenen Jahren erfolgten Abfalllieferungen ins RHFT von Püspökszilágy (siehe Kapitel 6.1.3) kann ausgesagt werden, dass die Genehmigungsinhaber jährlich durchschnittlich etwa 10-15 m<sup>3</sup> radioaktive Abfälle und 400-500 verbrauchte geschlossene Strahlenquellen zur Zwischen- oder Endlagerung übergeben. Unter Berücksichtigung der Schließung von RHFT im Jahre 2067 (siehe Kapitel 6.1) soll man sich bis zu jenem Zeitpunkt auf die Unterbringung von voraussichtlich etwa 600 m<sup>3</sup>

institutionellen Abfällen über die im Forschungsreaktor und Unterrichtsreaktor entstehende Menge vorbereiten.

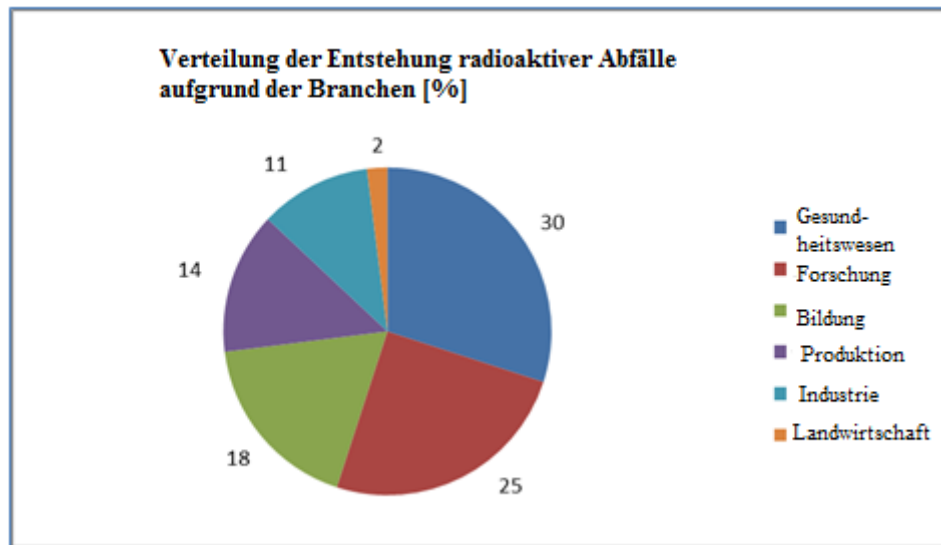


Abbildung 8: Verteilung der Entstehung radioaktiver Abfälle aufgrund der Branchen [%],  
Quelle: Zentralregister

### 3.2.6 Radioaktive Abfälle der neuen Blöcke des Atomkraftwerks

Die wichtigsten Quellen der radioaktiven Abfälle sind auch im Fall der neuen Blöcke die beim Betrieb und bei der Instandhaltung verschmutzten Schutzkleidungen, Schutzausrüstungen, Werkzeuge, Bestandteile, Kunststofffolien; die aus den Reaktoren entfernten Einrichtungen und ihre Bestandteile. Darüber hinaus tragen zur Menge der Festabfälle auch die Bruchstücke aus den Umbauarbeiten, Metallabfälle, Kabel; die verschmutzten und erschöpften Aerosol- und Jodfilter der Gasreinigung und der Lufttechnik, sowie die aus der betriebenen Anlage demontierten verschmutzten oder sich aktivierten Einrichtungen, Rohrleitungen, Wärmeisolierungen bei. Zur Volumenreduzieren der verdichtbaren festen Abfälle wird später ein Superkompaktor (eine Presse mit hoher Druckleistung) zur Verfügung stehen.

Flüssige radioaktive Abfälle entstehen in erster Linie in Verbindung mit der Reinigung des Primärkreiswassers bei der Dekontaminierung von Armaturen, Rohrleitungen und Räumlichkeiten, sowie infolge der Entleerungen oder der eventuellen Leckagen von Einrichtungen, Rohrabschnitten, Armaturen. Zur Entstehung flüssiger Abfälle tragen noch die Probeentnahmen und die Labortätigkeiten bei, sowie das Duschwasser aus dem Primärkreis-Umkleideraum und das Wasser aus der speziellen Wäscherei. Flüssige radioaktive Abfälle werden nach Eindampfung zwischengelagert, dann werden sie gemäß den Plänen vor der Zementierung im Interesse der weiteren Volumenreduzierung wieder eingedampft.

In der Tabelle 4 wird die beim Betrieb des geplanten Atomkraftwerks Typ VVER-1200 jährlich entstehende Abfallmenge pro Block, beziehungsweise die für die 60 Jahre Betriebsdauer der zwei Blöcke projektierte Gesamtmenge radioaktiver Abfälle zusammengefasst.

*Tabelle 4: Geschätzte Menge der beim Betrieb der zwei neuen Atomkraftwerksblöcke am Standort von Paks entstehenden radioaktiven Abfälle*

Abfalltyp	Jährlich entstehende Menge pro Block		Gesamtmenge der zwei Blöcke bei 60 Jahren Betriebsdauer [m <sup>3</sup> ]
	Abfallmenge [m <sup>3</sup> /Jahr]	Abfallmenge nach Behandlung (Verfestigung, Zerstückelung, usw.) [m <sup>3</sup> /Jahr]	
Schwach und mittel radioaktive feste Abfälle	81	32	3840
Großformatige, nicht behandelbare Abfälle (entstehen bei Instandhaltung/Reparatur)	5	-	600
Zementierter Eindampfstoff	25	20	2400
Zementiertes Ionenaustauscherharz	10	8	960
Zementierter Schlamm	0,6	0,5	60
hoch radioaktive feste Abfälle	0,5	-	60

Das in NRHT verwendete Unterbringungssystem wurde auf die Einlagerung von kompakten Abfallpaketen optimiert, die auf in Kapitel 3.2.2.2 erwähnten dünnwandigen Stahlcontainern bauen, optimiert, deshalb ist es sinnvoll, auch im Fall der neuen Blöcke diesen Abfallpakettyp zu berücksichtigen. Auf der Grundlage der in der letzten Kolumne der 5. Tabelle angeführten Menge der in den zwei neuen Blöcken während der 60 Jahre Betriebsdauer entstehenden schwach und mittel radioaktiven Abfälle ist die unterzubringende Menge festzustellen. Diese Menge erscheint in der Tabelle 5.

*Tabelle 5: Menge der schwach und mittel radioaktiven Abfälle, die in den zwei neuen Blöcken am Standort Paks während der 60 Jahre Betriebsdauer entstehen und in NRHT untergebracht werden*

Abfallpaket	Beschreibung des Abfallpakets	Menge (Stk.)	Volumen [m <sup>3</sup> ]
Kompaktes Abfallpaket (1,8 m <sup>3</sup> )	4 Tonnen fester Abfälle + aktiver Zementleim	2589	4765
Stahlcontainer (1,8 m <sup>3</sup> )	Zementiertes Ionenaustauscherharz	533	980
Tonne (200 l)	Verdichtete feste Abfälle	8842	1833
Großformatige, nicht behandelbare Abfälle (entstehen bei		-	600

Abfallpaket	Beschreibung des Abfallpakets	Menge (Stk.)	Volumen [m <sup>3</sup> ]
Instandhaltung/Reparatur)			
<b>Insgesamt:</b>			<b>8228</b>

Aufgrund der zurzeit verfügbaren Datenlieferung können wir bei der Demontierung eines in russischer Konstruktion gebauten Druckwasser-Atomkraftwerkes Typ VVER-1200 voraussichtlich mit der Entstehung 16 250 m<sup>3</sup> Abfälle sehr kleiner Radioaktivität, 2050 m<sup>3</sup> schwach und mittel radioaktiver und 85 m<sup>3</sup> hoch radioaktiver Abfälle pro Block rechnen.

### 3.3 Gesamtbestandverzeichnis der radioaktiven Abfälle

In den vorangehenden Kapiteln wurden die Anlagen – beziehungsweise die Tätigkeiten bezüglich der institutionellen radioaktiven Abfälle – dargestellt, deren Betrieb und spätere Demontierung zur Entstehung radioaktiver Abfälle führt.

In der Tabelle 6 wird der Bestand in Ungarn entstehender schwach und mittel radioaktiver Abfälle zusammenfasst. In der Tabelle erscheint auch die Menge der Abfälle aus der Demontierung des in Paks betriebenen Zwischenlagers für abgebrannte Kassetten (KKÁT) (siehe Kapitel 7.2). Laut aktueller Pläne werden die schwach und mittel radioaktiven Abfälle aus dem Atomkraftwerk in NRHT in Bataapáti, während die institutionellen Abfälle in RHFT in Püspökszilágy endgelagert (in der Tabelle 6 sind die unterzubringenden Mengen gerundet angeführt). Die radioaktiven Abfälle aus dem Abbau der Bedienungsanlagen von NRHT und RHFT müssen bei der Schließung der Lager ebenfalls in den bezüglichen Anlagen untergebracht werden, aber die Menge von diesen ist gemäß den vorangehenden Schätzungen nicht erheblich.

*Tabelle 6: Gesamtbestandverzeichnis der in Ungarn entstehenden schwach und mittel radioaktiven Abfälle*

Abfallquelle	Aktuelle Menge (01.01.2015) [m <sup>3</sup> ]	Zukünftig entstehende Menge [m <sup>3</sup> ]	Unterzubringende Menge [m <sup>3</sup> ]	Endlagerung
NRHT Zwischenlager	475	-	1 170	NRHT
NRHT Endlager	692	-		
Betrieb Paks 1-4	10 144	10 466	14 600*	
Demontierung Paks 1-4	-	27 044	27 100**	
Betrieb Paks 5-6	-	8 228	8 300	
Demontierung Paks 5-6	-	36 600	36 600**	
Demontierung KKÁT	-	100	100	
<b>INSGESAMT:</b>	<b>11 311</b>	<b>82 438</b>	<b>87 870</b>	
RHFT Endlager	4 900	-	4 900	RHFT

Betrieb Unterrichtsreaktor	1	6	7
Demontierung Unterrichtsreaktor	-	50	50
Betrieb Forschungsreaktor	3	10	13
Demontierung Forschungsreaktor	-	260	260
Sonstige institutionelle radioaktive Abfälle	nicht anwendbar	600***	600
<b>INSGESAMT:</b>	<b>4 905</b>	<b>926</b>	<b>5 830</b>

\* Wegen Anwendung der geplanten Abfallbehandlungstechnologien zur Volumenreduzierung stimmt die unterzubringende Menge mit der Summe der aktuellen und der zukünftig entstehenden Menge nicht überein.

\*\* In Ungarn existiert die Kategorie der Abfälle mit sehr kleiner Radioaktivität noch nicht, aber entsprechend der vorangehenden Schätzungen können mehr als 80% der Abfälle aus der Demontierung des Atomkraftwerks (Paks 1-4), sowie 89% der Abfälle aus der Demontierung der neuen Blöcke (Paks 5-6) unter diese Kategorie fallen.

\*\*\* Geschätzte Menge der Abfälle, die bis zur Schließung im Jahre 2067 ins RHFT geliefert werden.

Im Zusammenhang mit der Tabelle 6 ist wichtig zu bemerken, dass man im Interesse der Sicherstellung der zur Unterbringung institutioneller radioaktiver Abfälle nötigen Kapazität das Programm zur Sicherheitssteigerung von RHFT durchführen muss, das gleichzeitig auch Lagerkapazität befreit (siehe Kapitel 6.1.2). Institutionelle radioaktive Abfälle werden voraussichtlich auch nach der im nationalen Programm berücksichtigten Betriebsdauer von RHFT entstehen. Über die Sicherung der Endlagerung dieser Abfälle muss man dann am Anfang der 2060er Jahre Entscheidung treffen.

Die Schätzungen bezüglich der möglichen Menge der Abfälle mit sehr kleiner Radioaktivität – besonders bezüglich der Abfälle aus der Demontierung – begründen jedenfalls, dass Ungarn das optimale Konzept für die Unterbringung dieser Abfälle aufgrund des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit ausgestaltet. Diese Optimierung muss man jedenfalls auch unter Berücksichtigung der aktuell betriebenen zwei Lagerwerke für radioaktive Abfälle vollführen.

Im Land entstehen auch außerhalb der Entsorgung der abgebrannten Brennstoffe hoch radioaktive und/oder langlebige radioaktive Abfälle, die in NRHT oder in RHFT nicht endgelagert werden können. Diese radioaktiven Abfälle müssen im später in Ungarn zu errichtenden geologischen Tieflager endgelagert werden. Das Bestandverzeichnis der hoch radioaktiven und/oder langlebigen Abfälle wird in der Tabelle 7 zusammengefasst.

*Tabelle 7: Bestandverzeichnis der in Ungarn entstehenden hoch radioaktiven und/oder langlebigen Abfälle*

Quelle der Abfälle	Aktuelle Menge (01.01.2015) [m <sup>3</sup> ]	In der Zukunft entstehende Menge [m <sup>3</sup> ]	Unterzubringende Menge [m <sup>3</sup> ]
Betrieb von Blocks 1-4 Paks	101	115	216
Demontierung Paks 1-4	-	73	73
Betrieb Paks Blöcke 5-6	-	60	60

Demontierung Paks 5-6 Blöcke	-	170	170
Institutioneller Herkunft*	100	400	500
<b>INSGESAMT:</b>	<b>201</b>	<b>818</b>	<b>1 019</b>

\* Die Zwischenlagerung der langlebigen institutionellen radioaktiven Abfälle erfolgt zurzeit in RHFT.

Die geographische Lage von Anlagen, die in der Entstehung, Zwischenlagerung und Endlagerung radioaktiver Abfälle eine maßgebende Rolle spielen, wird auf Abbildung **Hiba!** **A hivatkozási forrás nem található.** dargestellt.



Abbildung 9: Geographische Lage der Anlagen, die in der Entstehung und Entsorgung radioaktiver Abfälle eine Rolle spielen

#### 4 Bildung der abgebrannten Brennelemente

Die abgebrannten Brennelemente sind gemäß der Bestimmung des Atomgesetzes der im Kernreaktor bestrahlte und aus dem Reaktor endgültig entfernte Kernbrennstoff, der wegen seiner Wiederaufbereitung außerhalb des Kernreaktors nicht als Abfall gilt, oder wenn dieser auf der Grundlage einer diesbezüglichen Entscheidung nicht zur Wiederverarbeitung gelangt, im Weiteren als radioaktiver Abfall gilt, für dessen Endlagerung gesorgt werden muss. Im letzteren Fall gelten die abgebrannten Brennelemente als hochradioaktive Abfälle und müssen dementsprechend behandelt werden.



## 4.1 Im Atomkraftwerk Paks anfallende abgebrannte Brennelemente

Im Atomkraftwerk Paks befinden sich 4 Reaktoren des Typs VVER-440. Jeder Reaktor erzeugte ursprünglich 1375 MW Wärmeenergie, aus der 440 MW Elektroenergie erzeugt werden konnten. Mit unterschiedlichen Entwicklungen der Sekundär- und Primärkreise können jetzt bereits je Block 1485 MW Wärme und 500 MW Elektroenergie erzeugt werden. In der aktiven Zone des Reaktors befinden sich 349 Brennelementkassetten. Davon sind 312 Arbeitskassetten, die nur an der Energieerzeugung teilnehmen, die anderen 37 sind so genannte Steuer- und Sicherheitskassetten, die aus dem Brennelementteil und dem Aufnahmeteil (Absorber) bestehen. Die Parameter der Kassetten enthält die Tabelle 8. Die im Atomkraftwerk Paks verwendeten Kassettentypen stellt die Anlage 1 vor.

*Tabelle 8: Geometrische Abmessungen der Brennelementkassetten des Atomkraftwerks Paks*

Kassettenparameter	Arbeitskassetten	Steuer- und Sicherheitskassetten	
		Brennelementteil	Absorberteil
Gesamtlänge der Kassetten (mm)	3217	3200	2630
Maximale Schlüsselweite (mm)	145	145	144
Nenngewicht (kg)	219	220	110
Anzahl der Brennstäbe	126	126	-
Stablänge (mm)	1. Generation: 2540 2. Generation: 2601,5	1. Generation: 2540 2. Generation: 2540	-

### 4.1.1 Anzahl der im Atomkraftwerk Paks anfallenden abgebrannten Brennelemente

Das Atomkraftwerk Paks hat seit seiner Gründung 14.101 Brennelementkassetten und 837 Absorber gekauft. Die gegenwärtigen Auffindungsstellen der Absorber enthält die Tabelle 9, die der Brennelementkassetten die Tabelle 10.

*Tabelle 9: Auffindungsstellen der vom Atomkraftwerk Paks bisher (01.01.2015) gekauften Absorberkassetten*

Lagerobjekt	Lager für frische Brennelemente	Reaktoren	Abklingbecken	NAH Schacht	KGYK	Gesamt
Absorber [Stück]	51	148	108	528	2	<b>837</b>

Die im Abklingbecken befindlichen Absorber versehen eine Sicherheitsfunktion, mit diesen kann auch im Falle von Kassetten mit einer Anreicherung von 3,82 % oder mehr<sup>3</sup> der sichere Betriebszustand gewährleistet werden (entsprechende Subkritikalität). Die 2 Absorber im Wartungs-Übungszentrum (KGYK) dienen Ausbildungs- und praktischen Aufgaben. Die nicht mehr zur weiteren Verwendung gelangenden Absorberkassetten werden in den Rohrbrunnen für hochradioaktive Abfälle (NAH Schacht) in den Blöcken des Atomkraftwerks gelagert.

*Tabelle 10: Auffindungsstellen der vom Atomkraftwerk Paks bis zum 01.01.2015 gekauften Brennelementkassetten*

Lagerobjekt	Lager für frische Brennelemente	Reaktoren	Abklingbecken	Russische Föderationen	KKÁT (Zwischenlager für abgebrannte Kassetten)	Gesamt
Brennelementkassetten (Stück)	529	1.396	1.733	2.366	8.077	<b>14.101</b>

In den Lagern für frische Brennelemente befinden sich bisher noch nicht benutzte Kassetten. Von den 529 Kassetten sind 48 auf 1,6 % oder 2,4 % angereichert, die strategische Reserven sind, d.h. nur in Ausnahmefällen verwendet werden. Die anderen Kassetten sind auf 4,2 % angereichert.

In den Reaktoren befinden sich gegenwärtig überwiegend auf 4,2 % angereicherte Kassetten (1104 Stück). Von den auf 3,82 % angereicherten Kassetten sind nur noch 280 Stück vorhanden, aber auch diese werden bei den Umlagerungen im Jahr 2015 entfernt. Im 3. Block befinden sich zu Testzwecken noch 12 auf 4,7 % angereicherte Kassetten. Die auf 4,7 % angereicherten Kassetten sind darum notwendig, weil ab 2015 statt den 12-monatigen Zyklen (Brennelement-Umlagerungszyklus) schrittweise die 15-monatigen Zyklen eingeführt werden, die jedoch nur mit Kassetten höherer Anreicherung ausführbar sind.

In den Abklingbecken befinden sich Kassetten, die bereits betrieben wurden, jedoch aus irgendeinem Grund in das KKÁT geliefert wurden. Diese Gründe können die folgenden sein:

- Sie bilden eine strategische Reserve, sind also noch für den Betrieb geeignet. Das Atomkraftwerk Paks verfügt gegenwärtig über 146 derartige Kassetten.
- Es besteht eine solche Schadhaftheit (z.B. Undichtigkeit), wegen der sie vorerst nicht in das KKÁT geliefert werden können. Bis 01.01.2015 traten im Atomkraftwerk

<sup>3</sup> Anreicherung: Prozess, in dem der Anteil des im natürlichen Uran in sehr geringem Ausmaß (0,7 %) vorhandenen Uranisotops 235 erhöht wird. Die meisten Reaktortypen können nur mit angereichertes Uran enthaltenen Brennelementen arbeiten. Von den Fachleuten im breiten Kreis anerkannte Abkürzung des Wortgebrauchs „in einem bestimmten Prozentsatz angereicherte Kasette“.

Paks 3 undichte Kassetten auf. Für deren Lagerung ist später, gemäß den Ausführungen im Kapitel 5.1.1.2, noch zu sorgen.

- Ihre Restwärmeleistung ist für das Liefern in das KKÁT zu hoch, d.h. sie haben ihre Abklingzeit nicht erreicht:
  - bei Anreicherung auf 1,6 %, 2,4 % und 3,6 % die 36 Monate,
  - bei Anreicherung auf 3,82 % und 4,2 % die 42 Monate,
  - bei Anreicherung auf 4,7 % die 46 Monate.

Die in die Die Sowjetunion und später in die Russische Föderation zurückgeschickten Kassetten können in drei Gruppen unterteilt werden:

- Zwischen 1989-1998 wurden gemäß dem ungarisch-sowjetischen Regierungsabkommen (siehe Anlage 2 [1]) 2331 abgebrannte Kassetten so zurückgeliefert, dass der bei der Wiederaufbereitung anfallende sekundäre radioaktive Abfall in Russland endgelagert wird.
- Im Jahr 2003 wurden bei der Reinigung der Kassetten des 2. Blocks im Schacht 1 30 Brennelementkassetten beschädigt. Im Jahr 2006 wurden von den Brennelementteilen der 30 beschädigten Kassetten in 44 T29-Kapseln und in 24 T28-Kapseln eingelagert. Im Sommer 2014 wurden 30 eingekapselte beschädigte Kassetten in 4 TUK6-Containern in die Russische Föderation zurückgeliefert.
- Während der bisherigen Betriebszeit des Atomkraftwerks wurden 5 frische Kassetten ohne Bestrahlung zurückgeliefert: drei Kassetten wurden wegen mechanischen bzw. geometrischen Unzulänglichkeiten nicht verwendet, weitere zwei Kassetten wurden wegen der Umstellung auf eine höhere Anreicherung nicht mehr benötigt.

Von der Behandlung der oben aufgeführten, in die Russische Föderation gelieferten abgebrannten bzw. frischen Brennelemente gelangte kein zu behandelnder radioaktiver Abfall in das Gebiet von Ungarn zurück.

In das KKÁT wurden seit der Inbetriebnahme im Jahr 1997 regelmäßig abgebrannte Brennelemente zur Zwischenlagerung überführt. Bis 1. Januar 2015 wurden insgesamt 8077 Kassetten eingelagert.

#### **4.1.2 Voraussichtliche Anzahl der in Zukunft im Atomkraftwerk Paks anfallenden abgebrannten Brennelemente**

Gemäß der behördlichen Genehmigung beginnt ab 2015 die Umstellung auf die 15-monatigen Zyklen. Im Jahr 2015 erhalten Block 3, im Jahr 2016 Block 2, im Jahr 2017 Block 4 und im Jahr 2018 Block 1 eine solche Brennelementbeschickung, die einen 15 Monate langen Zyklus ermöglicht. Aus dem Gesichtspunkt des Brennelementverbrauchs ist die Folge davon, dass außer der Verwendung der vorhandenen Kassetten mit 4,2 % Anreicherung auch Kassetten mit höherer Anreicherung (4,7 %) erforderlich sind.

Die Anzahl der im Normalbetrieb des Kraftwerks anfallenden abgebrannten Brennelementkassetten kann gut geschätzt werden. Infolge des Übergangs auf den 15-monatigen Brennelementzyklus muss bei jeder Umlagerung mit 102 frischen Brennelementkassetten gerechnet werden, dagegen erfolgen alle 5 Jahre nur vier Umlagerungen. Damit werden jährlich je Block durchschnittlich 81,6 abgebrannte Kassetten ausgelagert. Bei einem 12-monatigen Umlagerungszyklus werden jährlich je Block 84 abgebrannte Kassetten ausgelagert. Im Vergleich zum gegenwärtigen 12-monatigen Brennelementzyklus kann festgestellt werden, dass langfristig der Brennelementverbrauch und damit die Anzahl der anfallenden abgebrannten Kassetten abnehmen wird. Nach den Plänen kann - unter Berücksichtigung der zeitlich abgestimmten Einführung des 15-monatigen Zyklus - bis zum Ende der Betriebszeit der Verbrauch von weiteren 6510 frischen Brennelementkassetten geschätzt werden.

Bei der Untersuchung der Endlagerung der abgebrannten Kassetten ist in Zukunft für die Unterbringung der in den Reaktoren betriebenen 1396 und in den Abklingbecken befindlichen 1733 sowie in Zukunft zu verbrauchenden 6510, insgesamt 9639 abgebrannten Kassetten zu sorgen.

## 4.2 Im Budapester Forschungsreaktor anfallende abgebrannte Brennelemente

Bei Inbetriebnahme des Budapester Forschungsreaktors (1959) wurden Brennelemente des Typs EK-10 mit 10 % Anreicherung, später, nach der ersten Rekonstruktion, Brennelemente VVR-M und VVR-M2 mit 36 % Anreicherung verwendet. Diese abgebrannten Brennelemente wurden auf der Grundlage des mit der Regierungsverordnung Nr. 204/2008. (VIII. 19.) verkündeten Abkommens (siehe Anlage 2 [2]) im Jahr 2008 und 2013 in das Herstellerland, die Russische Föderation, transportiert, wozu die Regierung der Vereinigten Staaten von Amerika gemäß der Regierungsverordnung Nr. 179/2008. (VII. 5.) (siehe Anlage 2 [2a]) eine teilweise Unterstützung gab. Die Anzahl und Typ der gelieferten Brennstabbündel zeigt die Tabelle 11.

*Tabelle 11: Typ und Anzahl der aus dem Budapester Forschungsreaktor nach Russland gelieferten abgebrannten Brennstäbe*

<b>Datum</b>	<b>Typ der abgebrannten Brennstäbe</b>	<b>Anreicherung</b>	<b>Menge (Stück)</b>
<b>2008</b>	EK-10	10%	82
	VVR-M	36%	1188
	VVR-M2	36%	216
<b>2013</b>	VVR-M2	36%	515

Die im Budapest Forschungsreaktor nicht verwendeten, auf 36 % angereicherten Brennstabbündel wurden 2009 auf dem Luftweg nach Russland zurückgeliefert. Dabei wurden 157 Brennstabbündel (20 Typ VVR-M und 137 Typ VVR-M2) geliefert.

Der Transport der Brennelemente erfolgte mit solchen Bedingungen, dass bei deren Wiederaufbereitung keinerlei sekundärer Abfall nach Ungarn zurückgelangte. Der Budapester Forschungsreaktor wird gegenwärtig mit auf 19,75 % angereicherten Brennelementen VVR-M2 betrieben. Die auf 19,75 % angereicherten Brennelemente sind durchschnittlich zu 60 % abgebrannt, der durchschnittliche Schwermetallgehalt der abgebrannten Brennstabbündel beträgt 220 g ( $^{235}\text{U}$ -Restgehalt 18-25 g).

Die Zone des Budapester Forschungsreaktors wird aus Dreier- und einzelnen Brennstabbündeln gebildet, die 190 Positionen in der Zone einnehmen. Die Brennstabbündel können in fünf, in Einzelbündeln gerechnet, aus 38 Stück bestehende Gruppen eingestuft werden, gemäß der in der Zone verbrachten Zeit. Bei der Zonenordnung wird eine Gruppe ausgetauscht, die anderen werden unter Berücksichtigung der Anforderungen des Betreibers und der Auflagen der Behörden, in eine Position umgesetzt, die den zum Erreichen des erforderlichen Abbrands entsprechenden Fluxus sichert.

Der Verbrauch der Brennelemente ist eine Funktion der Betriebszeit. Beim früheren intensiven Betrieb wurden jährlich durchschnittlich 70 Brennstabbündel ausgetauscht. Das sind beim gegenwärtigen Verbrauchsniveau jährlich 38 Brennstabbündel, im geplanten 12-Zyklen-Betrieb können das 45 Brennstabbündel/Jahr sein.

Der Budapester Forschungsreaktor verfügt gegenwärtig über 462 Brennstabbündel, von denen 76 abgebrannt sind, 190 sich im Reaktor befinden und 196 auf die Verwendung warten. Bis zu dem als Referenz angegebenen Stilllegungszeitpunkt (bis 2023) muss mit dem Anfallen von insgesamt 642 abgebrannten Brennstabbündeln gerechnet werden, deren Schwermetallgewicht 141,24 kg beträgt.

### **4.3 Im Ausbildungsreaktor anfallende abgebrannte Brennelemente**

Der Ausbildungsreaktor der BME arbeitet seit 1971. Der Ausbildungsreaktor in Beckenbauweise verwendet Leichtwasser als Moderator, seine gegenwärtig zulässige maximale Wärmeleistung beträgt 100 kW. In seiner aktiven Zone befinden sich 24 auf 10 % angereicherte Brennstabbündel EK-10 mit 30 kg Uran Gesamtmasse.

Das vor der Inbetriebnahme in die aktive Zone gebrachte Brennelement befindet sich auch gegenwärtig in der aktiven Zone, d.h. am Reaktor wurde noch kein Brennelementaustausch durchgeführt. Bei der 1980 erfolgten Leistungssteigerung wurde neben den ursprünglichen Kassetten eine Kassette mit frischen Brennelementen in der Zone platziert. Der Betrieb des Ausbildungsreaktors wird auch in Zukunft mit diesem Brennelement fortgesetzt. Dementsprechend werden vor der endgültigen Stilllegung voraussichtlich keine abgebrannten Brennelemente anfallen.

Zum Zeitpunkt der endgültigen Stilllegung muss in Übereinstimmung mit den obigen Ausführungen mit 24 abgebrannten Brennstabbündeln EK-10 gerechnet werden. Deren Abbrandniveau wird sehr niedrig sein (man rechnet mit einer  $^{235}\text{U}$ -Abnahme von 1 % oder weniger).

In den 1980er Jahren hatte der Rechtsvorgänger des Instituts für Nukleartechnik der BME - als Brennelementreserve - aus der damaligen Tschechoslowakei 28 Brennstabbündel EK-10 gekauft, die im Zeitraum 1970 - 1975 im kritischen System der SKODA Werke (die maximale Leistung betrug 100 Watt) verwendet wurden. Diese Kassetten werden zurzeit als bestrahlt, aber nicht als abgebrannte Brennelemente geführt.

Bei der endgültigen Stilllegung - im Referenzfall (siehe Kapitel 3.2.1) - im Jahr 2027 wird die im Gebäude des Ausbildungsreaktors aufbewahrte geringe Menge bestrahlter Brennelemente (28 Brennstabbündel) auch als abgebrannt gelten, denn ihre bei der Betriebszeit bereits verbrachte Zeit ermöglicht in einem kritischen System eine Kettenreaktion. Das Abbrennen dieser Brennstabbündel kann wegen ihrer außerordentlich kleinen, geringen Oberflächendosisleistung manuell gehandhabt werden.

Außer den im Reaktor betriebenen 24 Brennstabbündeln bzw. den 28 die Reserve bedeutenden bestrahlten Kassetten verfügt der Ausbildungsreaktor auch über eine 4 Kassetten entsprechende frische Brennelementmenge.

#### **4.4 Die in den neuen Atomkraftwerksblöcken anfallenden abgebrannten Brennelemente**

Die aktive Zone der neuen Reaktoren wird aus 163 Brennelementkassetten bestehen. Jede Kassette wird aus 312 Brennstäben, 18 Steuerstangen-Führungsrohren und 1 Detektor-Führungsrohr bestehen. Die Anreicherung der Stäbe bewegt sich zwischen 4,37-4,93 %. Die Kassetten enthalten in Abhängigkeit von der Profilierung 6-27 über Abbrandgift verfügende Stäbe. Diese Stäbe enthalten 5-8 % Gadolinium. Über der Zone befinden sich 121 Steuerstangenbündel.

Die neuen Atomkraftwerksblöcke werden nach den anfänglichen zwei 12-monatigen Zyklen auf den 18-monatigen Umlagerungszyklus umgestellt. Im letzteren Fall werden je Zyklus 72-73 abgebrannte Brennelementkassetten dem Reaktor entnommen. Das bedeutet alle anderthalb Jahre 144-146 Kassetten für zwei Blöcke. Die Brennelementkassetten werden über die in Tabelle 12 aufgeführten Parameter verfügen.

*Tabelle 12: Voraussichtliche Eigenschaften der in den neuen Reaktoren verwendeten Brennelementkassetten (TVS-2006)*

<b>Kassetten-Parameter</b>	<b>Wert</b>
Gesamtgewicht der Kassette (kg)	750
Gewicht des $\text{UO}_2$ in der Kassette (kg)	534

<b>Kassetten-Parameter</b>	<b>Wert</b>
Gesamtlänge der Kasette (mm)	4570
Aktive Länge der Kasette (mm)	3730
Maximale Schlüsselweite (mm)	235
Anzahl der Brennstäbe in der Kasette	312
Durchschnittliche Anreicherung (U <sup>235</sup> m/m%)	4,85 %
Durchschnittlicher Abbrand (GWd/tU)	55

Den Abbrand der Kassetten beim Herausnehmen deckt der Wert 55 MWTag/kgU. Ein-zwei Prozent des Ausgangsgewichts des Urans dieser Kassetten machen in der Regel Plutonium, 0,1 % sekundäre Actinide, 5 % Spaltprodukte und 93 % das verbleibende Uran aus. Auf der Grundlage dieser wird eine Kasette ca. 8,9 kg Plutonium, 0,5 kg sekundäre Actinide, 438 kg Uran und ungefähr 23,6 kg sonstige Spaltprodukte enthalten. Es ist wichtig anzumerken, dass die oben angegebenen Mengen Richtwerte sind, vorab geschätzte Werte. Die genauen Mengen können nur im Moment des Entfernens aus der Zone angegeben werden, weil die Betriebsführung deren Wert bedeutend beeinflusst. Die sich auf das spezifische Gewicht des Plutoniums und der sekundären Actinide beziehende Bestimmung kann auf der Grundlage des Vorläufigen Sicherheitsberichts später erstmals erneut geschätzt werden. Zum Ende des Lebenszyklus von 60 Jahren der Blöcke fallen bezüglich der beiden Blöcke 6100 abgebrannte Kassetten an.

#### 4.5 Inventur der abgebrannten Brennelemente

In Ungarn fällt die überwiegende Menge abgebrannter Brennelemente bei der nuklearen Stromerzeugung an. Eine geringe Menge bedeuten die abgebrannten Brennelemente des Budapester Forschungsreaktors sowie des Ausbildungsreaktors. Die Tabelle 13 fasst die Inventur der abgebrannten Brennelemente zusammen, die zur besseren Vergleichbarkeit auch die Schwermetallgewichte enthält.

*Tabelle 13: Zusammengefasste Inventur der in Ungarn anfallenden abgebrannten Brennelemente*

<b>Quelle der abgebrannten Brennelemente</b>	<b>Insgesamt anfallende Menge</b>	
	<b>Kassetten (Stück)</b>	<b>Schwermetallgewicht (kg)</b>
Paks 1-4 Betrieb	17.716	2.125.920
Paks 5-6 Betrieb	6.100	2.874.000
<b>GESAMT:</b>		<b>4.999.920</b>
Betrieb des Ausbildungsreaktors	56	69
Betrieb des Forschungsreaktors	1.092	240

Quelle der abgebrannten Brennelemente	Insgesamt anfallende Menge	
	Kassetten (Stück)	Schwermetallgewicht (kg)
<b>GESAMT:</b>		<b>309</b>

Aus den Daten der Tabelle ist ersichtlich, dass unter Berücksichtigung der Betriebszeit von 50 Jahren der vier Blöcke des Atomkraftwerks Paks  $\sim 2130 t_{HM}$  und auch unter Berücksichtigung von 60 Jahren Betriebszeit der neuen Blöcke des Atomkraftwerks auf das Anfallen von insgesamt fast 5.000  $t_{HM}$  vorbereitet werden muss.

## 5 Behandlung der abgebrannten Brennelemente

Die Menge der in den Energiereaktoren und im Ausbildungs- bzw. im Forschungsreaktor anfallenden abgebrannten Brennelemente und deren Behandlungsstrategie weichen deutlich voneinander ab. Darum wird in diesem Hauptkapitel zuerst die Behandlung der in den Energiereaktoren anfallenden Brennelemente - Zwischenlagerung (Kapitel 5.1) und Schlussphase des nuklearen Brennstoffzyklus (Kapitel 5.2) - vorgestellt, danach folgt die Beschreibung der Art der Behandlung der im Ausbildungs- bzw. im Forschungsreaktor anfallenden abgebrannten Brennelemente (Kapitel 5.3).

### 5.1 Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente der Energiereaktoren

Die Zwischenlagerung ist - obwohl sie nicht als endgültige Lösung betrachtet werden kann - ein wesentliches Element der zur Behandlung der abgebrannten Brennelemente angewandten technologischen Schritte. Einesteils ist ein Forschungs- und Errichtungsprozess von mehreren Jahrzehnten notwendig, um in Ungarn ein geologisches Tiefenlager zu verwirklichen, das zur Einlagerung entweder der abgebrannten Brennelemente oder des bei der Wiederaufbereitung anfallenden hochradioaktiven und langlebigen Abfalls unerlässlich ist und eine endgültige Lösung für die Behandlung dieser Materialien bedeutet. Andererseits ist, besonders im Falle der Energiereaktoren, eine gewisse „Abkühlung“ der abgebrannten Brennelemente (Verringerung der Wärmeleistung wegen des radioaktiven Zerfalls) zur Durchführung der folgenden technologischen Schritte - endgültige Endlagerung nach dem Transport oder der Reprozessierung - erforderlich.



## **5.1.1 Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente des Atomkraftwerks Paks**

### ***5.1.1.1 Errichtung des Zwischenlagers für abgebrannte Kassetten***

Bei der Annahme des technischen Planes des Atomkraftwerks Paks bestand die gültige Konzeption Ende der 1970er Jahre darin, dass die Sowjetunion die in den Abklingbecken des Atomkraftwerks gelagerten abgebrannten Brennelementkassetten nach Abklingen von 3 Jahren kostenlos wieder abnimmt und so reprozessiert, das alle Endprodukte der Wiederaufbereitung in der Sowjetunion bleiben. Nach der Inbetriebnahme des ersten Blocks des Atomkraftwerks hatte die Sowjetunion die Rücklieferungsbedingung mehrmals geändert. In Einhaltung der ändernden Bedingungen hat das Atomkraftwerk Paks zwischen 1989 und 1998 insgesamt 2331 abgebrannte Kassetten in die Sowjetunion (später die Russische Föderation) zurückgeliefert.

In der Anfangsphase des Betriebs des Atomkraftwerks boten die bei den Reaktoren befindlichen Abklingbecken eine gewisse Lagermöglichkeit. Ein Zwischenlager großer Kapazität, das langfristig (mehrere Jahrzehnte) eine Lösung sichert, wurde in Ungarn nicht gebaut.

In den ersten Jahren der Rücklieferung ergab sich wegen den in Europa bzw. in der Sowjetunion eingetretenen politischen und wirtschaftlichen Veränderungen, dass die Praxis der Rücklieferung der abgebrannten Kassetten mit Aufrechterhaltung der ständig strenger werdenden Bedingungen auch nicht lange weitergehen kann. Es wurde eine Entscheidung gefällt, dass bei Beibehaltung der Rücklieferung der abgebrannten Brennelemente nach Russland eine echte nationale Alternative vorbereitet werden muss. Für die Sicherung der Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente wurde von den Fachleuten des Atomkraftwerks für die Errichtung des KKÁT ein modulares Kammer- und Trockenlager (Modular Vault Dry Storage: MVDS) als Ergebnis eines gründlichen, mehrere Gesichtspunkte berücksichtigenden Prozesses der Wahl des Typs gewählt.

Nach Erteilung der entsprechenden Genehmigungen wurde 1997 das KKÁT in Betrieb genommen und es begann auch das Auffüllen mit abgebrannten Brennelementen. Danach erfolgte der laufende Betrieb des KKÁT parallel mit der Erweiterung, die auch gegenwärtig noch im Gange ist.

Das KKÁT ist ein ebenerdiges Gebäude, in dem sich die Brennstäbe einzeln, in vertikalen, dickwandigen, hermetisch verschlossenen Stahlrohren befinden. Die Rohre stehen in von Betonmauern umgebenen Kammern. Die Betonkammer um die Lagerrohre sichert eine entsprechende Abschirmung gegen Strahlung.

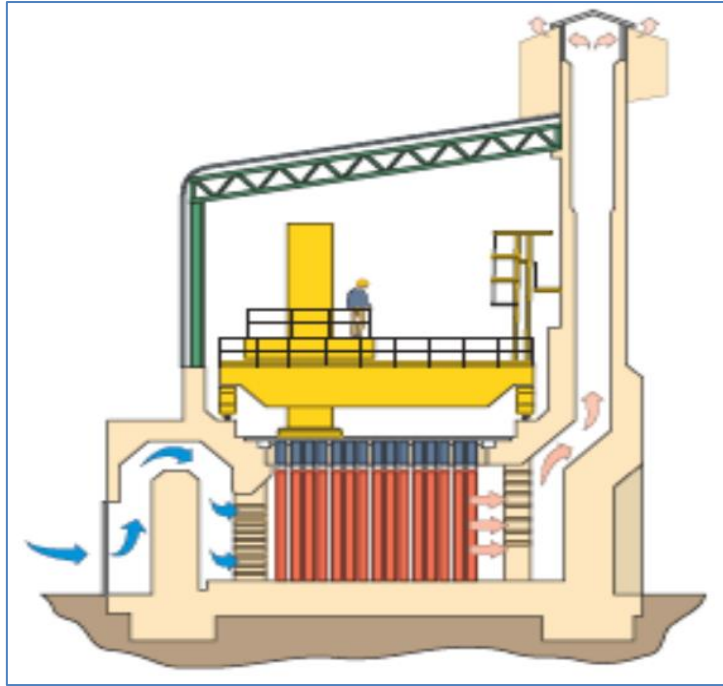


Abbildung 10: Das passive Kühlsystem des KKÁT

Die Lagerung erfolgt unter trockenen Bedingungen, die entstehende Restwärme führt ein auf dem natürlichen Luftzug beruhendes Kühlsystem ab (siehe Abbildung **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**). Somit muss auch bei Eintreten einer elektrischen oder anderen technischen Störung nicht mit dem Ausfall der Kühlung gerechnet werden. Die Kühlluft strömt zwischen den Lagerrohren, darum hat sie keinen direkten Kontakt mit den Kassetten. In den Lagerrohren wird eine neutrale Gasumgebung (Stickstoff) gesichert, darum kann die Korrosion der Umhüllung der Stäbe vernachlässigt werden.

Bei der anfänglichen Ausführung des Objekts (Kammer 1-16) enthielt eine Kammer 450 Lagerpositionen (Lagerrohre). Ab der Kammer 17 wurden - mit Verwirklichung der verdichteten Verteilung der Lagerrohre - in einer Kammer 527 Lagerpositionen ausgeführt. Damit bietet der gegenwärtige, 20 Kammern enthaltende Ausbau des Objekts die Möglichkeit zur Lagerung von 9308 ausgebrannten Kassetten.

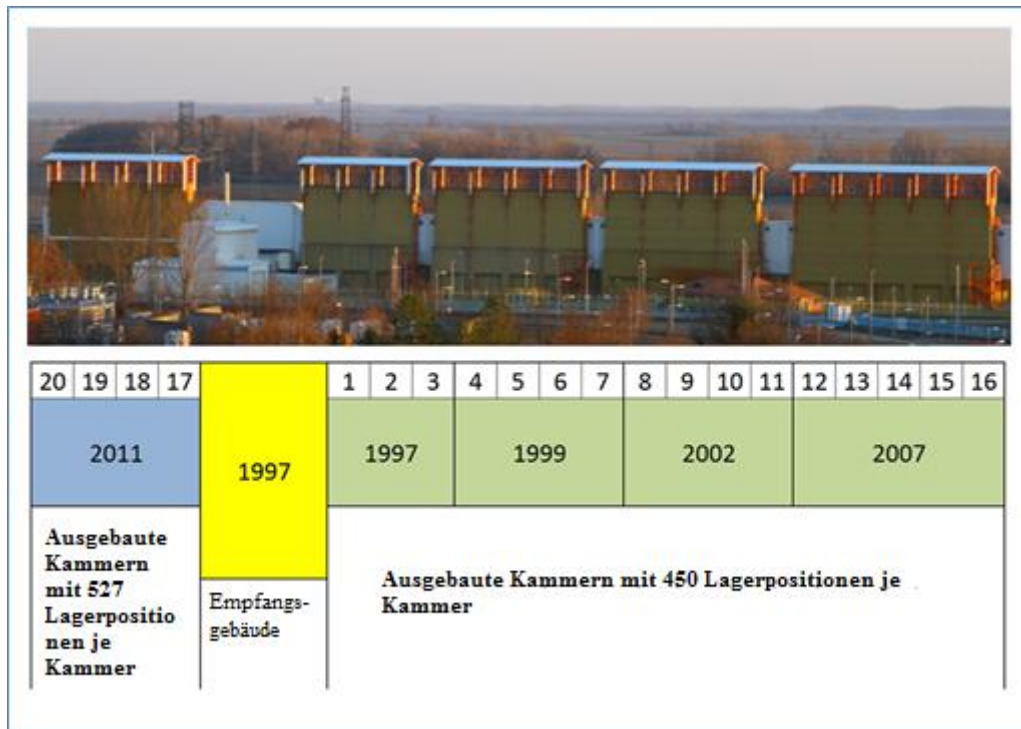


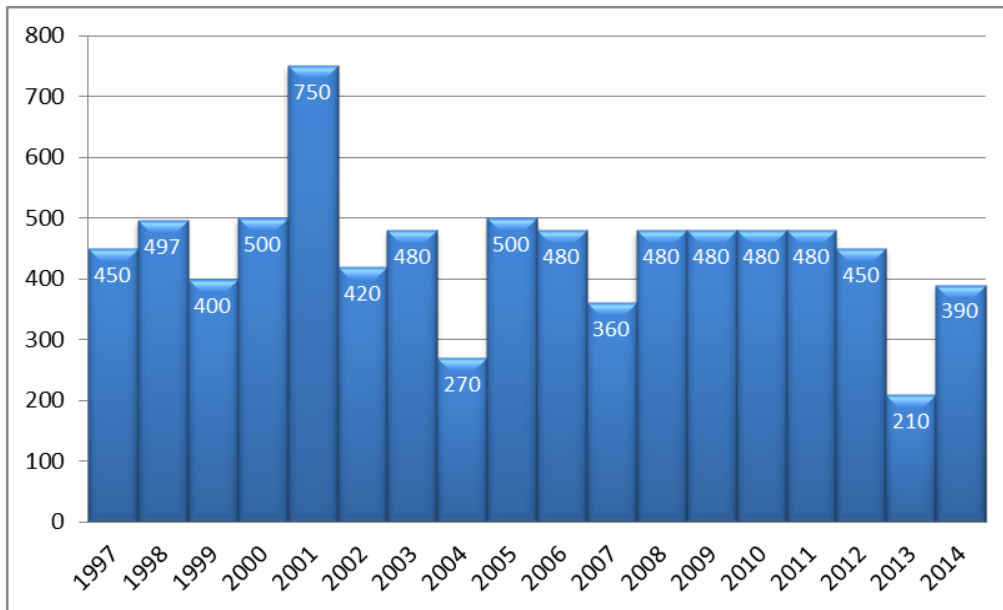
Abbildung 11: Der gegenwärtige Ausbau des KKÁT

Errichtung und Inbetriebnahme des KKÁT können modular entsprechend der Anlieferungen der abgebrannten Brennelemente verwirklicht werden. Beim bisherigen Ausbau enthielten die zu den einzelnen Errichtungsphasen gehörenden Module drei, vier bzw. fünf Kammern, die die Abbildung Abbildung 11 veranschaulicht.

#### 5.1.1.2 Betrieb des Zwischenlagers für abgebrannte Kassetten

Die abgebrannten Kassetten werden nach mehreren Jahren Abkühlung (durchschnittlich 5-6 Jahre) aus den Abklingbecken des Kraftwerks unter nassen Bedingungen, in einem sog. C-30-Container, der gleichzeitig 30 abgebrannte Kassetten aufnehmen kann, in das KKÁT geliefert. Die Kassetten werden nacheinander - nach dem Herausheben aus dem mit Wasser gefüllten C-30-Container - mit Heißluft getrocknet. Nach dem Trocknen wird die Kassette aus dem Trockenrohr in die Verlademaschine gehoben, die diese zum entsprechenden Lagerrohr bringt und in dieses einsetzt. Die Verlademaschine wird in einem geschlossenen Raum über den Lagerrohren, der als Füllhalle bezeichnet wird, betrieben. Vor dem Verschließen wird im Lagerrohr ein Vakuum erzeugt, danach mit Stickstoff eingefüllt, eine Inert-Gasumgebung für die Zwischenlagerung der abgebrannten Kassetten sichernd.

Im Objekt wurden am 01.01.2015 8077 abgebrannte Kassetten gelagert. Die Abbildung Abbildung 12 zeigt die Anlieferung der abgebrannten Brennelemente aufgeteilt nach Jahren.



*Abbildung 12: Anzahl (Stück) der bisher in das KKÁT gelieferten abgebrannten Brennelemente aufgeteilt nach Jahren*

Beim Betrieb des KKÁT fallen in sehr geringer Menge (im Durchschnitt 4-5 m<sup>3</sup> pro Jahr) schwach- und mittelradioaktive Abfälle an, hauptsächlich Filtereinsätze, Reinigungsgeräte, Dekontaminationsausrüstungen bzw. Schutzkleidungen. Diese Abfälle werden nach der vorgeschriebenen Einstufung gemäß Programm in das Abfallentsorgungssystem des Atomkraftwerks geliefert und so später als Teil der im Atomkraftwerk anfallenden Abfälle erfasst.

Bezüglich der Nuklearanlagen schreiben die geltenden Rechtsvorschriften alle 10 Jahre eine Periodische Sicherheitsüberprüfung vor. Dieser Periode passt sich die Betriebsgenehmigung der Objekte an, die im Falle des KKÁT bis zum 30. November 2018 gültig ist. Die sich auf das KKÁT beziehende Periodische Sicherheitsüberprüfung ist dann so durchzuführen, dass die deren Ergebnisse vorstellende Dokumentation und der periodischen Sicherheitsbericht bis 30. November 2017 der Atomaufsichtsbehörde zur Bestätigung einzureichen sind.

Es wurde ein technischer Konzeptionsplan dazu erarbeitet, auf welche Weise die über eine nachweisbare Undichtigkeit verfügenden, eine sog. spezielle Lagerung erfordernden abgebrannten Kassetten im KKÁT eingelagert werden können. Nach dieser Konzeption müssen dann die ausführlichen technischen Pläne erarbeitet und begründenden Berechnungen ausgeführt werden bzw. auf deren Grundlage sind die notwendigen Änderungen der Genehmigungen einzuleiten. Danach wird die Möglichkeit zur Durchführung der notwendigen technischen Umbauten im Objekt bestehen.

### **5.1.1.3 Meilensteine des Weiterbaus des KKÁT**

Die weitere Erweiterung des KKÁT wird gemäß der früher vorgestellten Praxis, angepasst an die Anlieferung der anfallenden abgebrannten Brennelemente, als modular geplant.

Gegenwärtig erfolgt die Errichtung des die Kammern 21-24 enthaltenden neuen Moduls, die plangemäß im Jahr 2017 beendet wird.

Parallel zu den Bauarbeiten begann eine Arbeit, die der weiteren Erhöhung der Kapazität des KKÁT dient. Abgeschlossen wurden die technischen Pläne und begründenden Sicherheitsberechnungen, die die Machbarkeit der Verdichtung der Lagerrohre nachweisen, mit der erreicht werden kann, dass ab Kammer 25 in einer Kammer sogar 703 abgebrannte Kassetten eingelagert werden können. Auf der Grundlage der auszuarbeitenden Dokumentationen können bis Ende 2016 die erforderlichen Genehmigungsverfahren durchgeführt werden, die eine Erweiterung des KKÁT gemäß der neuen Konzeption ermöglichen.

Die Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente des Atomkraftwerks Paks planen wir konservativ, in Übereinstimmung mit den gegenwärtigen Genehmigungen mit einer technischen Lösung, die je Kammer 527 Lagerpositionen sichert. Zeitplan und Kostenschätzung dieser Konzeption bilden die Grundlage für die Einzahlungen in den Atomkraftwerk-Fonds. Die Tabelle 14 enthält unter Berücksichtigung der Anlieferungen der abgebrannten Brennelemente des Atomkraftwerks Paks den Ausführungsterminplan der einzelnen Module.

*Tabelle 14: Zeitplan der modularen Erweiterung des KKÁT*

<b>Objektteil</b>	<b>Fertigstellung des Objekts</b>	<b>Gesamtzahl der Lagerpositionen (Stück)</b>
Kammern 21-24	2017	11.416
Kammern 25-28	2024	13.524
Kammern 29-32	2029	15.632
Kammern 33-36	2035	17.740

Während der ganzen - auch die Verlängerung der Betriebszeit um 20 Jahre enthaltenden - 50-jährigen Betriebszeit der 4 Blöcke des Atomkraftwerks Paks fallen 17.716 Kassetten in Ungarn zu lagernder abgebrannter Brennelemente an, die gemäß der gegenwärtig genehmigten Lagerkonzeption im Ausbau des 36 Kammern enthaltenen Objekts untergebracht werden können. Wenn die Erhöhung der Lagerkapazität der Kammern auf 703 ab Kammer 25 genehmigt wird, kann die Zwischenlagerung der gleichen Menge an abgebrannten Brennelementen mit dem Ausbau von 33 Kammern gewährleistet werden. Mit der verdichteten Lagerrohr-Verteilung kann bei gleichem Sicherheitsniveau eine kosteneffektivere Zwischenlagerung realisiert werden.

In dem Falle, wenn in der Zukunft eine Entscheidung für die Schlussphase des nuklearen Brennstoffzyklus gefällt wird (siehe Kapitel 5.2.1), die die Reprozessierung der abgebrannten Brennelemente des Atomkraftwerks Paks vor Abschluss des ganzen Ausbaus des Lagers vorsieht, besteht wegen des modularen Aufbaus die Möglichkeit, dass der oder die letzten Module nicht eingebaut werden.

### **5.1.2 Möglichkeiten der Zwischenlagerung der ausgebrannten Brennelemente der neuen Blöcke**

Die kommerzielle Inbetriebnahme der neuen Atomkraftwerksblöcke ist 2025 bzw. 2026 zu erwarten. Nach Anlauf des ersten Blocks muss nach Ablauf des ersten 12-monatigen Zyklus die erste Charge abgebrannter Kassetten dem Reaktor entnommen und im Abklingbecken gelagert werden. Die abgebrannten Brennstabbindel werden 5-10 Jahre lang im Abklingbecken gekühlt. Die Lagerung im Abklingbecken der zuerst entnommenen Kassetten wird zwischen 2031-2036 abgeschlossen, danach ist für deren Unterbringung in einem Zwischenlager zu sorgen.

Die Zwischenlagerung der abgebrannten Kassetten muss auch im Falle der Brennelemente der neuen Blöcke gewährleistet werden. Einesteils, weil das eine endgültige Lösung darstellende geologische Tiefenlager in Ungarn nahezu 30 Jahre nach Abschluss des Abklingens der ersten abgebrannten Kassetten zur Verfügung stehen wird. Andererseits, weil wegen dem Ausmaß der aus dem Zerfall der in den abgebrannten Brennelementen vorhandenen radioaktiven Isotopen entstehenden Wärme die Zwischenlagerung der Brennelemente noch mehrere Jahrzehnte erforderlich sein wird, damit die sich auf die Wärmeentwicklung beziehenden technischen Grenzen der Endlagerung eingehalten werden können. Die erforderliche Dauer der Zwischenlagerung und die sich auf die Wärmeentwicklung beziehende Grenze sind später unter Berücksichtigung der Eigenschaften der abgebrannten Brennelemente und des Lagersystems genauer zu bestimmen.

Wenn beim Betrieb der neuen Blöcke wiederaufbereitete Brennelemente eingesetzt werden (siehe im Kapitel 5.2 die sich auf die Schlussphase des nuklearen Brennstoffzyklus beziehenden Analysen), muss im Zwischenlager eine Möglichkeit der Zwischenlagerung für die abgebrannten wiederaufbereiteten Brennelemente (z.B. abgebrannte MOX oder REMIX) gesichert werden.

Die Zwischenlagerung kann in einem für die Aufnahme von abgebrannten Brennelementen zugelassenen inländischen bzw. ausländischen Lager erfolgen. Die Bedingungen für die Zwischenlagerung in Ungarn können gegeben sein, auf der Zeichnung des Standorts der neuen Blöcke wurde der Standort des Zwischenlagers angegeben. Wichtig ist, dass auch die Umweltverträglichkeitsprüfung zusammen mit dem Aufbau des neuen Zwischenlagers die Umweltauswirkungen des Standorts prüft. Im Falle der Lagerung in Ungarn müssen die Kosten für Bau und Betrieb des Lagers berücksichtigt werden und auch die Dauer der Zwischenlagerung ist zu bestimmen.

Bei der Zwischenlagerung im Ausland müssen die Bedingungen dafür bei Verhandlungen zwischen den Parteien bestimmt werden. Im Rahmen des mit Gesetz Nr. II aus dem Jahre 2014 verkündeten ungarisch-russischen Regierungsabkommens besteht auch die Möglichkeit einer Zwischenlagerung in Russland. Im Vergleich der inländischen Lagerkosten mit dem von der Konstruktion angebotenen Preis ist zu entscheiden, welche Option den ungarischen Interessen mehr dient.

Die Entscheidung zwischen den Optionen ist so zu treffen, dass diese zu dem Zeitpunkt, zu dem die erste Beschickung dem Abklingbecken entnommen wird, zur Verfügung steht,

unabhängig davon, worauf die Wahl fällt. Diesen Zeitpunkt bestimmen das Einholen der für die inländische Zwischenlagerung erforderlichen Genehmigungen und der Bau, so wird dieser wahrscheinlich zur Zeit des Anlaufs der neuen Blöcke fällig werden.

## **5.2 Die Schlussphase des nuklearen Brennstoffzyklus für Energiereaktoren**

Bezüglich der Schlussphase des nuklearen Brennelementzyklus gibt es in der Gegenwart der internationalen Praxis grundsätzlich zwei Vorstellungen: direkte Einlagerung abgebrannter Brennelemente (offener Brennelementzyklus) bzw. eine gewisse Wiederaufbereitung (Reprozessierung).

In einem offenen Brennelementzyklus werden die abgebrannten Brennelemente nach der erforderlichen Abklingzeit direkt, ohne jede weitere Verarbeitung in speziellen hermetisch dichten Containern endgültig in einem dafür ausgeführten geologischen Tiefenlager untergebracht.

Der wichtigste Vorteil des offenen Brennelementzyklus ist, dass keine komplizierten technologischen Operationen erforderlich sind, jedoch die Menge des in den abgebrannten Brennelementen vorhandenen, nicht zu vernachlässigenden Spaltmaterials nicht genutzt wird.

Die ohne Wiederaufbereitung untergebrachten abgebrannten Kassetten gelten in diesem Fall als hochradioaktiver Abfall, der gegenüber den schwach- und mittelradioaktiven Abfällen über eine erhebliche Wärmeenergieerzeugung verfügt.

Bei der in der Gegenwart bereits industriell erfolgenden teilweisen Wiederaufbereitung werden die zur weiteren Energieerzeugung geeigneten Uran- und Plutoniumisotopen getrennt, bei der Verarbeitung bleibt als Nebenprodukt hochradioaktiver und langlebiger Abfall zurück, der jedoch ein wesentlich kleineres Volumen als die abgebrannten Brennelemente vor der Verarbeitung hat. Die Abfälle müssen ähnlich wie die abgebrannten Brennelemente in einem geologischen Tiefenlager endgelagert werden, gleichzeitig weichen Gestaltung des Abfallpakets, Isotopenzusammensetzung, Abfallform und Höhe der Wärmeenergieproduktion bedeutend von den abgebrannten Brennelementen ab, dadurch kann die Größe des für die Lagerung des verarbeiteten Abfalls errichteten geologischen Tiefenlagers wesentlich kleiner sein.

Aus dem bei der Wiederaufbereitung getrennten Plutonium und Uran können wieder Brennelemente hergestellt werden, die mit Anreicherung teilweise oder vollständig wiederaufgearbeitetem Uran hergestellte sog. ERU (Enriched Reprocessed Uranium) bzw. auch Plutonium enthaltene MOX-Brennelemente sein können, deren Wiederaufbereitung in geeigneten Energiereaktoren erfolgen kann.

Die Verarbeitung kann auch ohne Wiederaufbereitung von Uran und Plutonium erfolgen, aber dann muss mit dem die Verarbeitung vornehmenden Land eine Vereinbarung über Art und Weise sowie Bedingungen des Verkaufs sowie Verwendung für andere Zwecke oder Lagerung des Spaltmaterials abgeschlossen werden.

Die Wiederaufbereitung abgebrannter Brennelemente ist eine bereits bewährte, industriell verwirklichte Praxis, jedoch eine sehr komplexe Technologie und darum verfügen nur wenige Länder darüber. Ein Reprozessierungsbetrieb kann - auf der Grundlage wirtschaftlicher und technischer Überlegungen - nur in internationaler Zusammenarbeit bzw. in einem Land aufgebaut werden, das über eine bedeutende Atomindustrie verfügt, darum muss, wenn in Ungarn der Bedarf zur Wiederaufbereitung von abgebrannten Brennelementen besteht, diese im Ausland erfolgen.

Im gegenwärtig angewandten Reprozessierungsverfahren wird aus den Brennstäben, die Spaltmaterial aus der ersten Wiederaufbereitung enthalten, nach dem Abbrennen - wegen der reaktorphysikalischen und technischen Schwierigkeiten der erneuten Verwendung im Reaktor - zum zweiten Mal kein Rest-Spaltmaterial gewonnen, d.h. die Rückführung der Brennelemente kann in einem Atomkraftwerk, das reine wassergekühlte Reaktoren enthält, nicht vollständig sein. Darum kann der Brennelementzyklus eigentlich nur als teilweise geschlossen angesehen werden.

Die Ausführung einer solchen Technologie wird vorbereitet, die darauf beruht, dass aus den bei der Reprozessierung aus den getrennten spaltbaren Uran- und Plutoniumisotopen sowie aus einer kleinen Menge höher angereicherten Urans sog. REMIX (REgenerated MIXture of uranium and plutonium oxides) Brennelemente hergestellt werden. Die Vorteile dieser Brennelemente sind, dass gemäß den vorläufigen Pläne die aktive Zone vollständig mit REMIX Brennelementen ausgefüllt werden und auch zur mehrmaligen Wiederaufbereitung geeignet sein kann.

In der Forschungsphase befindet sich die Ausarbeitung einer weiterentwickelten Wiederaufbereitungstechnologie für abgebrannte Brennelemente, die gemäß den Erwartungen außer Uran und Plutonium auch die mehrmalige Wiederverwendung der sekundären Actinide (Neptunium, Americium, Curium) sichern kann. Dazu ist erforderlich, dass außer Uran und Plutonium auch die Trennung der anderen (sekundären) Actinide erfolgt. Der Abschluss des Brennelementzyklus kann mit der vollständigen Wiederverwendung von Uran, Plutonium und anderen Actiniden verwirklicht werden. Dieses Ziel kann gemäß intensiven, heute auch laufenden Forschungen voraussichtlich in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts im industriellen Maßstab erreicht werden, möglicherweise durch die Verwendung von Reaktoren der vierten Generation.

## **5.2.1 Schlussphase des nuklearen Brennstoffzyklus der betriebenen Energiereaktoren**

### ***5.2.1.1 Theoretische Möglichkeiten für die Schlussphase des nuklearen Brennstoffzyklus***

Die ungarische Strategie bezüglich der Behandlung der in den gegenwärtig betriebenen vier Blöcken des Atomkraftwerks Paks anfallenden abgebrannten Brennelemente kann mit den folgenden grundsätzlichen Möglichkeiten rechnen:



- A. Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente und danach folgende Endlagerung (direkte Einlagerung).
- B. Wiederaufbereitung der abgebrannten Brennelemente im Ausland, später Endlagerung der anfallenden radioaktiven Abfälle in einem in Ungarn zu bauenden geologischen Tiefenlager (Reprozessierung).
- C. Wiederaufbereitung der abgebrannten Brennelemente und Entziehen der sekundären Actinide, später Endlagerung der anfallenden radioaktiven Abfälle in einem in Ungarn zu bauenden geologischen Tiefenlager (weiterentwickelte Reprozessierung).

Im Folgenden werden die Hauptzüge der drei Alternativen vorgestellt.

#### A. Direkte Einlagerung der abgebrannten Brennelemente

Diese Alternative ist die gegenwärtige Planungsgrundlage für den im Kapitel 6.3 vorgestellten, sich auf die Behandlung hochradioaktiver und langlebiger Abfälle beziehenden Programmteil, der in den Vorjahren und auch gegenwärtig als sog. Referenz-Szenarium des im Kapitel 11 vorzustellenden Kostenvoranschlag- und Finanzierungssystem verwendet wird. Wenn diese Version für den Abschluss des -nuklearen Brennstoffzyklus gewählt wird, werden die abgebrannten Brennelemente nach einer Lagerung im Zwischenlager mit verlängerter Betriebszeit wie geplant in dem ab 2064 betriebenen geologischen Tiefenlager direkt eingelagert.

Gegenwärtig erscheint als nicht realistisch ausführbar, dass die direkte Einlagerung der abgebrannten Brennstäbe regional oder in einem anderen Land erfolgt, und darum kann für Ungarn nur der Bau eines geplanten geologischen Tiefenlagers in Frage kommen. Den Bau eines regionalen Lagers behindern keine technischen Gründe, sondern in der Gegenwart treten als schwer lösbar erscheinende Probleme im Zusammenhang mit den politischen Entscheidungen und der gesellschaftlichen Akzeptierung der Endlagerung von radioaktiven Abfällen aus anderen Ländern auf.

#### B. Reprozessierung der abgebrannten Brennelemente

Die abgebrannten Brennelemente können nach mehrjährigem Abklingen innerhalb des Atomkraftwerks (d.h. sogar auch ohne Zwischenlagerung) wiederaufbereitet werden. Gegenwärtig sind die im betriebenen Zwischenlager gelagerten, mehrere Jahre abgeklungenen Brennelemente ohne weiteres für eine chemische Wiederaufbereitung geeignet.

In der Gegenwart wird im Industriemaßstab das sog. PUREX (Plutonium and Uranium Recovery by EXtraction) Verfahren angewendet, bei dem die abgebrannten Kassetten zerkleinert, die Metallteile separiert und schließlich die abgebrannten Brennelemente in Salpetersäure aufgelöst werden. Der Lösung werden Plutonium und Uran entzogen, alles andere wird radioaktiver Abfall (einschließlich der anderen Actinide und Spaltprodukte), die verglast werden. Lohnenswert ist, sich mit dem weiteren Schicksal der bei der Reprozessierung anfallenden Materialströme getrennt zu befassen.

Aus den abgetrennten Uran und Plutonium können gemäß den obigen Ausführungen ERU und MOX (bzw. die in Zukunft zu erwartenden REMIX) Brennelemente hergestellt werden, die auf drei verschiedene Weisen verwendet werden können. Einesteils können die Reaktoren des Atomkraftwerks Paks mit den aus der Wiederaufbereitung der abgebrannten Brennelemente stammenden MOX-Brennelementen gegenwärtig - mangels einer Genehmigung und sicherer technischer Lösungen - nicht betrieben werden und während der noch verbleibenden 20 Jahre Betriebszeit ist die Amortisierung der notwendigen Änderungen nicht zu erwarten, die Wiederaufbereitung des getrennten Urans und Plutoniums in den vier VVER-440 Reaktoren ist nicht wahrscheinlich. Andererseits kann die Wiederaufbereitung des Urans und Plutoniums in den neuen Atomkraftwerksblöcken infrage kommen, auf die Kapitel 5.2.1.3 ausführlicher eingeht. Eine dritte Möglichkeit ist eine vertragliche Konstruktion, in deren Rahmen das getrennte Spaltmaterial verkauft wird und so die Wiederaufbereitung im Ausland erfolgen kann.

Wenn man alle bis zur endgültigen Stilllegung der gegenwärtig betriebenen vier Blöcke in Paks anfallenden abgebrannten Brennelemente wieder aufbereiten würde, würden ca. 500 Tonnen verglaster hochradioaktiver Abfall entstehen. Dessen Einlagerung ist ebenso wie die der abgebrannten Brennstäbe möglich, jedoch in wesentlich kleineren geologischen Tiefenlagern. Das erklärt, dass bereits auch vor einer sich auf die Schlussphase des Brennelementzyklus beziehenden endgültigen Entscheidung auf der Grundlage des Zeitplans gemäß Kapitel 6.3 die Auswahl und Prüfung eines zur Lagerung der hochradioaktiven Abfälle geeigneten geologischen Tiefenlagers vorgenommen werden können, danach später die Vorbereitung der Errichtung.

Die Wiederaufbereitung der in den Reaktoren VVER-440 des Atomkraftwerks Paks benutzten Brennelemente wäre nach den gegenwärtigen Informationen in zwei Betrieben möglich, einer ist der Betrieb im französischen La Hague, der andere der Betrieb Mayak in Russland. Für die Auswahl der Wahl der Wiederaufbereitungsstelle ist, über die Sicherheits- und kommerziellen Gesichtspunkte hinaus, auch zu untersuchen, wie lange die geplante Lebensdauer der einzelnen Betriebe ist bzw. wie ihr Betreiber deren Entwicklung plant. Angesichts der Tatsache, dass für eine sich auf die Wiederaufarbeitung der Brennelemente VVER - 440 beziehende Dienstleistung die Nachfrage verhältnismäßig begrenzt ist, muss man sich auch darauf vorbereiten, dass die Wiederaufbereitungskapazität bis zum Ende der Betriebszeit der Blöcke evtl. dann nicht zur Verfügung steht.

Ein wichtiger Gesichtspunkt kann auch sein, für wie lange die einzelnen Betriebe nach der Wiederaufarbeitung die vorübergehende Lagerung des verglasten hochradioaktiven Abfalls übernehmen. Wenn kurz nach der Wiederaufarbeitung die Rücklieferung der radioaktiven Abfälle erforderlich ist, muss entweder vorab eine längere inländische Zwischenlagerung und verzögerte Wiederaufarbeitung bezüglich der abgebrannten Brennelemente bevorzugt werden oder es ist für eine inländische vorübergehende Lagerung des verglasten hochradioaktiven Abfalls mit Bau eines neuen Zwischenlagers (evtl. mit Ausführung des vorhandenen KKÁT zur Aufnahme von verglasten hochradioaktiven Abfällen) zu sorgen.

### C. Weiterentwickelte Reprozessierung der abgebrannten Brennelemente

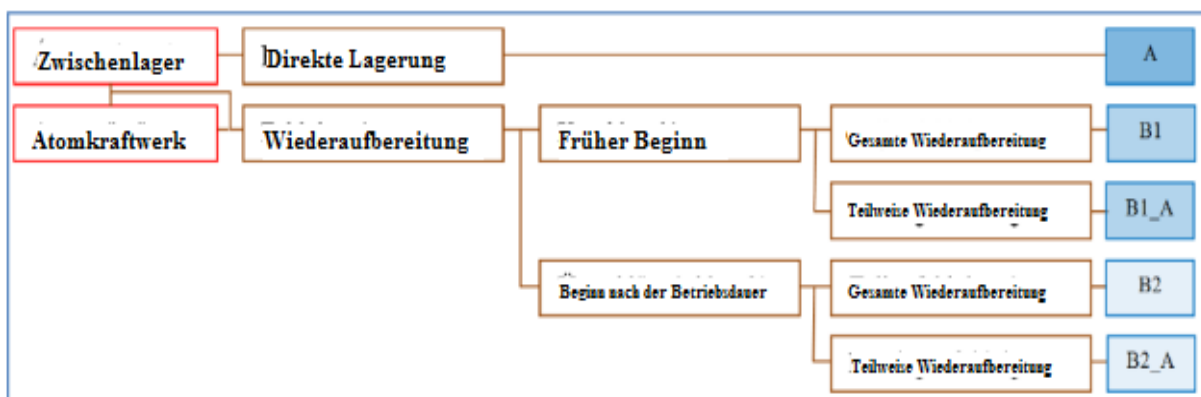
Diese Alternative unterscheidet sich nur scheinbar darin von der im Punkt B behandelten, dass bei der Reprozessierung eine fortschrittlichere Technologie angewendet wird. Diese - in der Gegenwart erst noch im Labormaßstab bestehende - Technologie ermöglicht außer Uran und Plutonium auch das Entziehen sonstiger sog. sekundärer Actinide aus den abgebrannten Brennelementen sowohl durch Trennen von Uran und Plutonium als auch zusammen mit dem Plutonium (letzteres würde die Proliferationsgefahr der Reprozessierung bedeutend verringern). Der verbleibende hochradioaktive Abfall wird ebenso verglast wie im vorherigen Fall, die Aktivität und Radiotoxizität dieser Abfälle ist jedoch wesentlich geringer.

Dieser aus vielen Gesichtspunkten sehr günstige Fall kann jedoch nur dann eine wirkliche Lösung bedeuten, wenn vor dem Eintreten der in diesem Programm festgehaltenen Entscheidungs- und Verzweigungspunkte diese Technologie zu einer für Ungarn in Anspruch zu nehmende Dienstleistung wird. In dieser Hinsicht kann eine verlässliche Schätzung jetzt nicht abgegeben werden, damit ist diese strategische Möglichkeit vorerst nicht als Realität zu behandeln, sondern wird nur bei der Bestimmung der Forschungs- und Entwicklungsaufgaben 8.2 berücksichtigt.

### **5.2.1.2 Die sich auf den Abschluss des Kernbrennstoffkreislaufs in den betriebenen Blöcken beziehenden strategischen Szenarien**

Die zwei grundlegenden gegenwärtig programmierbaren Weisen der endgültigen Versorgung der abgebrannten Brennstoffe sind die direkte Lagerung (Szenario A.) und die Wiederaufbereitung (Szenario B.). Die mit dem Szenario C beschriebene strategische Version ist in einem solchen Ausmaß unsicher, dass sie gegenwärtig für ein Nationales Programm noch nicht festgelegt werden kann. Mit Hinsicht darauf, dass die Wiederaufbereitung der vollen Menge des Brennstoffes wegen technischen, wirtschaftlichen oder anderen Gesichtspunkten eventuell nicht erfolgt, hat man im Programm auch ein, aus den Bestandteilen der Versionen A. und B. bestehendes „gemischtes“ Szenario zu handhaben.

Die auf sich auf den Abschluss des Kernbrennstoffkreislaufs in den betriebenen Blöcken beziehenden strategischen Szenarien können aufgrund der in den vorliegenden Punkten bekannt gemachten Überlegungen sowie der durch die anderen Bestandteile des Nationalen Programms bestimmten Rahmenbedingungen der Abbildung 9 entsprechend vorgestellt werden.



*Abbildung 13: Die sich auf den Abschluss des Kernbrennstoffkreislaufs in den betriebenen Blöcken beziehenden strategischen Szenarien*

*A. Zwischenlagerung des abgebrannten Brennstoffes und die danach folgende endgültige Lagerung*

In diesem Fall hat man die Abzweigungen, Entscheidungsknoten nicht beinhaltende Terminierungsaufgaben durch die Zwischenlagerung der abgebrannten Brennstoffe im KKÁT und dann die Endlagerung in dem heimischen geologischen Tiefenlager zu erfüllen. Das betrachten wir als der Referenzfall für das Atomkraftwerk in Paks, das bildet die Basis für die Einzahlung in den Fonds.

*B1. Die Wiederaufbereitung der abgebrannten Brennstoffe im Ausland, die Endlagerung nach der Zwischenlagerung der im Laufe der Reprozessierung anfallenden verglasten radioaktiven Abfälle in Ungarn.*

Der frühe Beginn der Wiederaufbereitung macht es einerseits möglich, dass die kontinuierliche Erweiterung des KKÁT binnen kurzer Zeit (nach der Beendigung der sich gerade im Bau befindlichen Module) abgestellt wird. Die Auslieferung zur Wiederaufbereitung befreit die früher in Betrieb gesetzten und geladenen Module, so kann die Einlagerung in diese Module während der verbleibenden Betriebszeit durchgeführt werden. Je früher die Entscheidung bezüglich der frühen Wiederaufbereitung fällt, desto mehr Module brauchen nicht erbaut werden.

Die im Verhältnis zu dem Zeitpunkt der Inbetriebsetzung des geologischen Tiefenlagers früh startende Wiederaufbereitung kann die Folge haben, dass die Zwischenlagerung des bedeutenden Teiles der wiederaufbereiteten verglasten hochradioaktiven Abfälle für eine relativ lange Zeit am Ort der Wiederaufbereitung oder in Ungarn gelöst werden muss. Das für den Empfang verglaster hochradioaktiven Abfälle geeignete Zwischenlager ist viel kompakter und einfacher als die, die der Zwischenlagerung der abgebrannten Brennstoffe dienen.

Das Szenario kann zwei Unterversionen abhängig davon beinhalten, dass man alle abgebrannten Brennstoffe des Atomkraftwerkes in Paks in voller Menge wiederaufbereitet oder das Ausmaß der Wiederaufbereitung nur partiell ist (mit „A“ gekennzeichnete Unterfall). Im Falle einer partiellen Wiederaufbereitung muss der unwiederaufbereitete Brennstoff unmittelbar nach der Einkapselung in die für diesen Zweck herausgebildeten Kammern des geologischen Tiefenlagers gesetzt werden. Es scheint technisch nicht zweckmäßig, Kammern für die Abfallpakete mit abweichenden Eigenschaften und abweichenden technischen Lösungen im geologischen Tiefenlager zu bauen. Eine partielle Wiederaufbereitung wird voraussichtlich aus wirtschaftlichen und technischen Gesichtspunkten nicht vertretbar sein.

Die Durchführbarkeit der Wiederaufbereitungsoption muss mit Hilfe einer, auch die Pläne für die Abschlussphase des Brennstoffkreislaufes der neuen Blöcke in Betracht ziehenden detaillierten vergleichenden technischen und wirtschaftlichen sowie Sicherheitsanalyse bis

zum, sich auf eine eventuelle Reprozessierung beziehenden Entscheidungsknote bewertet werden. Es muss geprüft werden, ob die Wiederaufbereitung des vollen anfallenden Umfangs des Brennstoffes sichergestellt werden kann. Es muss bestimmt werden, wie hohe Kostensenkung durch die Zwischenlagerung und die Herausbildung des geologischen Tiefenlagers sowie die Verwertung der im Laufe der Wiederaufbereitung gewonnenen Uran und Plutonium zu erwarten ist. Die zu erwartenden Kosten der, die Endlagerung vorangehenden Zwischenlagerung der Wiederaufbereitungsabfälle müssen bestimmt werden. Sollte dem Resultat nach die Wiederaufbereitung effizienter ausfallen, hat man aufgrund der Verfügbarkeit der Wiederaufbereitungsmöglichkeiten zu entscheiden, zu welchem Zeitpunkt die Wiederaufbereitung beginnen werden soll.

*B2. Die Wiederaufbereitung der abgebrannten Brennstoffe nach Außerbetriebsetzung der Blöcke im Ausland, Endlagerung der im Laufe der Reprozessierung anfallenden verglasten hochradioaktiven Abfälle in Ungarn.*

Der späte Beginn der Wiederaufbereitung macht die kontinuierliche Erweiterung des KKÁT mit neuen Modulen notwendig. Die sich dem Zeitpunkt der Inbetriebsetzung des geologischen Tiefenlagers anpassende Wiederaufbereitung kann jedoch die Folge haben, dass die wiederaufbereiteten verglasten hochradioaktiven Abfälle ohne eine längere Zwischenlagerung vom Wiederaufbereitungsort direkt in das Endlager geliefert werden können, wobei man für deren Bescheinigung eine detaillierte, auch die Charakteristik des aufnehmenden Gesteins und des Unterbringungssystems in Betracht ziehende wärmetechnische Analyse braucht.

Auch dieses Szenario kann zwei Unterversionen abhängig davon beinhalten, dass man alle abgebrannten Brennstoffe des Atomkraftwerkes in Paks in voller Menge wiederaufbereitet oder das Ausmaß der Wiederaufbereitung nur partiell ist (mit „A“ gekennzeichnete Unterfall). Im Falle einer partiellen Wiederaufbereitung muss der unwiederaufbereitete Brennstoff unmittelbar nach der Einkapselung in die für diesen Zweck herausgebildeten Kammern des geologischen Tiefenlagers gesetzt werden.

Die Durchführbarkeit der Wiederaufbereitungsoption muss mit Hilfe einer, auch den Brennstoffkreislauf der neuen Blöcke in Betracht ziehenden detaillierten vergleichenden Sicherheits-, technischen und wirtschaftlichen Analyse spätestens bis zum 2042 bewertet werden. Es muss geprüft werden, ob die Wiederaufbereitung des anfallenden vollen Umfangs des Brennstoffes sichergestellt werden kann. Es muss bestimmt werden, wie hohe Kostensenkung durch die Zwischenlagerung und die Herausbildung des geologischen Tiefenlagers sowie, wie hohe Kostensenkung durch die Verwertung der im Laufe der Wiederaufbereitung gewonnenen Uran und Plutonium zu erwarten ist. Die zu erwartenden Kosten der, die Endlagerung vorangehende Zwischenlagerung der Wiederaufbereitungsabfälle müssen bestimmt werden.

### 5.2.1.3 Wiederverwertungsmöglichkeiten des im Laufe der Reprozessierung gewonnenen spaltbaren Materials

Die Tabelle 15 stellt den geschätzten Umfang von, in den vier gegenwärtig betreibenden Reaktoren des Atomkraftwerkes in Paks bis zum Ende der geplanten 50-jährigen Betriebszeit im Laufe der Wiederaufbereitung der anfallenden abgebrannten Brennstoffe verwertbarem Plutonium und Uran dar.

*Tabelle 15 Das sich in den abgebrannten Brennstoffen angehäuften verwertbare Plutonium und Uran*

<sup>238</sup> Pu Masse (t)	0,74		
<sup>239</sup> Pu Masse (t)	12,49	<sup>234</sup> U Masse (t)	0,18
<sup>240</sup> Pu Masse (t)	5,02	<sup>235</sup> U Masse (t)	14,40
<sup>241</sup> Pu Masse (t)	1,11	<sup>236</sup> U Masse (t)	15,98
<sup>242</sup> Pu Masse (t)	1,86	<sup>238</sup> U Masse (t)	2062,37
<b>Gesamte Pu Masse (t)</b>	<b>21,22</b>	<b>Gesamte U Masse (t)</b>	<b>2092,93</b>

Die Verwertung der MOX-Brennstoffe in Ungarn kann nur in einer Konstruktion vorgestellt werden, dass die aus den abgebrannten Brennstoffen der gegenwärtigen Reaktoren hergestellten MOX-Brennstoffe in die später in Betrieb zu setzenden neuen Reaktoren gesetzt werden. Laut den Plänen für die neuen Atomkraftwerkblöcke wird das frühestens in den 2040er Jahren möglich sein. Man muss auch berücksichtigen, dass die Anwendung des gegenwärtig in Erprobungsphase sich befindenden mehrmalige Wiederaufbereitung zu ermöglichenden entwickelteren Brennstoffes (z.B. REMIX) mit ebenfalls gemischter Oxide zu diesem Zeitpunkt eventuell schon erreichbar sein wird.

Sollte es zu der Wiederaufbereitung der Brennstoffe vor der Stilllegung der Reaktoren kommen, muss man aus obigen Gründen, mangels eigener Anwendung, sich auf jeden Fall für eine langfristige Lagerung und/oder Verwertung von dem aus der Wiederaufbereitung stammenden Plutonium vorbereiten.

Eine heimische Lagerung von Plutonium scheint aus Proliferations- und sonstigen Gesichtspunkten nicht machbar zu sein und man kann es gegenwärtig als kein absetzbares Produkt betrachten. Daher muss man für seine Lagerung in dem Land der Wiederaufbereitung sorgen, angenommen für bedeutende Kosten. Bei einer Wiederaufbereitung im Russland besteht die Möglichkeit für die Verwertung von Plutonium in einem schnellen Reaktor, wodurch die Lagerkosten gesenkt werden könnten. Dessen Handelsdetails sind jedoch noch zu klären.

Der <sup>235</sup>U Inhalt der abgebrannten Brennstoffe kann im Prinzip auch die Herstellung von wiederaufbereiteten Uranoxid-Brennstoffen (ERU) ermöglichen. Das Uran beinhaltet nach der Wiederaufbereitung nicht nur natürliche Isotopen (<sup>234</sup>U, <sup>235</sup>U und <sup>238</sup>U), sondern einige Isotopen, die während der Einstrahlung entstanden sind (<sup>232</sup>U, <sup>233</sup>U, <sup>236</sup>U und <sup>237</sup>U). Aus dem

Aspekt der Wiederverwertung des Urans sind die Isotopen  $^{234}\text{U}$  und  $^{236}\text{U}$  besonders wichtig, die wegen deren großen Wirkungsquerschnitts für den Einfang die Anwendbarkeit des aus der Wiederaufbereitung stammenden Urans verschlechtert, da man dabei den Brennstoff mit höherem  $^{235}\text{U}$  Inhalt als den aus natürlicher Quelle herstellen muss. Da alle der in Ungarn betreibenden beziehungsweise in der Zukunft geplanten Reaktoren den für Energiereaktoren zugelassenen Grenzwert für die Anreicherung von 5% schon angenähert haben, bedarf deshalb die Verwendung solcher ERU-Brennstoffe der Lösung zusätzlicher Aufgaben.

Die Verwendbarkeit von aus Wiederaufbereitung stammendem Uran und Plutonium bedarf offensichtlich zusätzlicher Überlegungen. Es fallen dagegen vor der Verwertung wahrscheinlich auch bedeutende Lagerkosten an. Der Weltmarktpreis des Rohurans und die Anreicherungsdienstleistungen sind gegenwärtig relativ niedrig. Die Herstellungseinheitskosten des MOX-Brennstoffes liegen dabei höher. All das führt dazu, dass die Aufbereitungsoption gegenüber der direkten Lagerung nicht die Möglichkeiten einer Brennstoffwiederverwertung sondern hauptsächlich die eventuelle Kostensenkung der Erstellung des geologischen Tiefenlagers wirtschaftlich lukrativ machen kann. Es ist wichtig zu bemerken, dass die Kostensenkung bei der Erstellung eines geologischen Tiefenlagers nur dann tatsächlich realisierbar ist, wenn man dort keine abgebrannten Brennstoffe (besonders nicht abgebrannte MOX-Brennstoffe) endgültig unterbringen muss, ausschließlich nur während der Reprozessierung entstehenden hochradioaktive und langlebige Abfälle. Das kann die Synchronisierung der Abschluss-Optionen des Brennstoffkreislaufes der neuen und alten Blöcke in Paks notwendig machen.

## **5.2.2 Die Auswirkung der neuen Atomkraftwerkblöcke auf die Abschlussphase des Kernbrennstoffkreislaufes**

Aus dem Aspekt der neuen Atomkraftwerkblöcke kann man für die Abschlussphase des Kernbrennstoffkreislaufes die gleichen Strategien in Betracht ziehen, die im Kapitel 5.2.1.1 hinsichtlich des Atomkraftwerkes in Paks vorgestellt wurden.

Es bietet sich als eine mögliche Option die direkte heimische Lagerung der abgebrannten Brennstoffe nach der Zwischenlagerung (siehe 5.1.2 Kapitel) an. Die Reprozessierung der abgebrannten Kassetten im Ausland könnte sich ergeben, wobei man für die Zwischenlagerung und Endlagerung der als Nebenprodukt bildenden zweitrangigen hochradioaktiven Abfälle sorgen muss. Die Auslieferung der abgebrannten Brennstoffe zur Reprozessierung kann auch nach einer Lagerung in einem Ruhebecken für einige Jahre beziehungsweise nach einer Zwischenlagerung für einige Jahrzehnte durchgeführt werden. Die Möglichkeiten der Wiederverwertung des im Laufe der Reprozessierung abgetrennten spaltbaren Materials behandelt das Kapitel 5.2.1.3. Die Möglichkeit einer weiterentwickelten Reprozessierung (neben Uran und Plutonium die Abtrennung und Wiederverwertung von zweitrangigen Actiniden) kann man zunächst auch im Falle der neuen Blöcke nicht real in Betracht gezogen werden aber man soll es bemerken, dass im Zeithorizont des Betriebes

dieser die Wahrscheinlichkeit, dass diese Technologie zu einer realen, industriell anwendbaren, auch für Ungarn erreichbaren Praxis wird, größer ist.

Den Branchenprognosen nach kann die Anwendung des reprozessierten Brennstoffes bei einem nachhaltigen Betrieb der Atomkraftwerke eine wichtige Rolle spielen. Das bringt mit, dass die neuen Blöcke später zugelassen und für den Betrieb mit einem Brennstoff dieses Typs notwendigerweise umgebaut werden müssen. Sollte eine diesbezügliche Entscheidung fallen, kann sich die Verwendung der, aus der Wiederaufbereitung der in den gegenwärtigen vier Blöcken des Atomkraftwerkes stammenden Brennstoffe in den neuen Blöcken gemäß Kapitel 5.2.1.3 ergeben.

### **5.2.3 Entscheidungspunkte in Verbindung mit der Entsorgung der abgebrannten Brennstoffe**

Es stehen gegenwärtig nicht alle Informationen für die Wahl zwischen den möglichen Strategien bezüglich der Abschlussphase des Kernbrennstoffkreislaufs der Energiereaktoren zur Verfügung. Man kommt jedoch in der Zukunft zu Entscheidungspunkten an, bei denen eine Wahl zwischen den Optionen getroffen werden muss. Es ist zweckmäßig, die Entscheidungen bezüglich des Abschlusses des Kernbrennstoffkreislaufes durch ein, das Ausmaß aller im Laufe des Betriebes der sechs Blöcke entstehenden abgebrannten Brennstoffe in Betracht ziehendes integriertes Vorgehen zu treffen. Man kann hinsichtlich der Reaktoren folgende wichtige Entscheidungspunkte identifizieren.

Der erste Entscheidungspunkt ergibt sich im Zusammenhang mit der Art und Weise der Zwischenlagerung der abgebrannten Brennstoffe der neuen Blöcke. Man hat die Entscheidung vor dem Ablauf der Ruhezeit der ersten Ladung zu treffen, damit man mit großer Sicherheit die Genehmigung und Errichtung des Zwischenlagers durchführen kann. Dieser Zeitpunkt kann erwartungsgemäß mit dem Datum des Starts der neuen Blöcke zusammenfallen. Dann hat man zwischen zwei Möglichkeiten zu wählen. Zwischen der heimischen Zwischenlagerung und der Zwischenlagerung im Ausland (siehe Kapitel 5.1.2). So hat man unabhängig von der Wahl einer oder anderer Option ausreichend Zeit für deren Verwirklichung.

Man hat spätestens bis zum Anfang der 2040er Jahren die Durchführbarkeit der Aufbereitungsoption mit Hilfe einer, sich auf den Brennstoffkreislauf beziehenden detaillierten vergleichenden technischen und wirtschaftlichen sowie Sicherheitsanalyse zu bewerten (zweiter Entscheidungspunkt). Wenn die Entscheidung den Möglichkeiten entsprechend möglichst spät fällt, dann kann man schon vielleicht die Möglichkeit einer Wiederverwertung des spaltbaren Materials, deren Details bei der Beschreibung des dritten Entscheidungspunktes erscheinen, in Betracht ziehen.

Der dritte Entscheidungspunkt kommt um die Mitte der 2040-er Jahren an. Es wird abhängig von der wirtschaftlichen Umgebung entweder zweckmäßig sein, auf die Reprozessierung der abgebrannten Kassetten und gleichzeitig auf die Verwendung der reprozessierten Brennstoffe umzustellen oder die Nutzung der traditionellen Uranoxid-Brennstoffe fortzusetzen. Der



Zeitpunkt der Entscheidung wird vor allem durch die Dauer des Genehmigungsverfahrens für den Betrieb mit den reprozessierten Brennstoffen bestimmt werden. Diese Entscheidung kann auch später gefallen werden aber spätestens am Anfang der 2050-er Jahre, bei der Planung des geologischen Tiefenlagers. Die Planung des geologischen Tiefenlagers (Basis zur Planung des Lagers) hängt nämlich von der Quantität und Qualität der im Laufe der zu folgenden Strategie entstehenden Abfälle ab. Die Umstellung kann übrigens auch schon davor erfolgen, wenn die Bedingungen sich aus der Sicht der Verwirklichung des geschlossenen Brennstoffkreislaufes günstig formen.

Wenn man über die Reprozessierung der abgebrannten Brennstoffe irgendwann in der Zukunft eine Entscheidung fällt, ergibt sich auch einen vierten Entscheidungspunkt im Zusammenhang mit der Zwischenlagerung der verglasten hochradioaktiven Abfälle, die in Ungarn oder im Ausland verwirklicht werden kann.

Die oben beschriebenen Entscheidungspunkte werden durch die Abbildung 10 veranschaulicht. Man kann der Abbildung gut entnehmen, dass man hinsichtlich der Energiereaktoren in der Abschlussphase des Kernbrennstoffkreislaufes mehrere Szenarien vorstellen kann, deren Verwirklichung Schritt zu Schritt, einem Entscheidungsfall entlang vorstellbar ist.

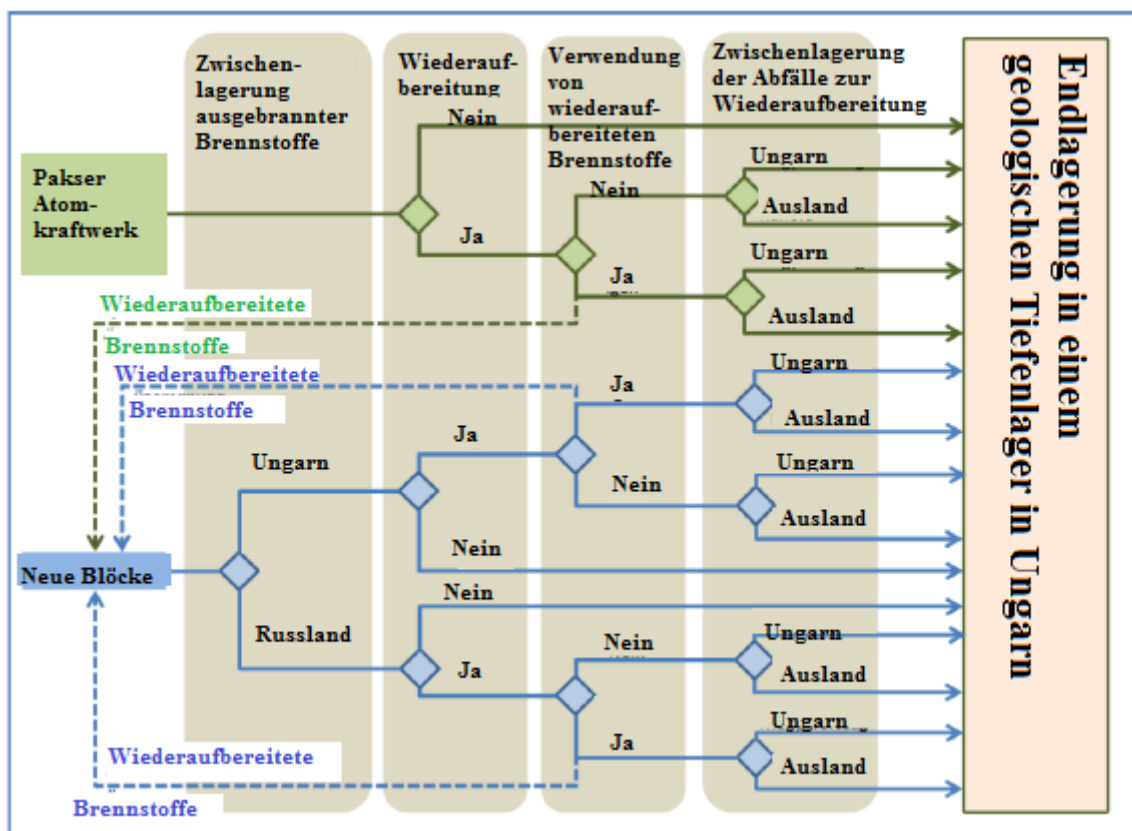


Abbildung 14: Veranschaulichung der Entscheidungspunkte hinsichtlich des Abschlusses des Kernbrennstoffkreislaufes

### **5.3 Entsorgung der abgebrannten Brennstoffe des Budapesters Forschungsreaktors und des Ausbildungsreaktors**

Am Standort des Budapesters Forschungsreaktors stehen zwei Lager für die abgebrannten Brennstoffe zur Verfügung: das innere Lager, dessen Kapazität 596 Brennstabbündel beträgt, (man hat den Anweisungen der Behörde folgend zusätzlich 190 leere Stellen zu sichern) und das äußere Lager, das geeignet ist, 2256 Brennstabbündel zu empfangen. Wie diese Zahlen zeigen, das äußere Lager ist an sich allein fähig, sämtliche abgebrannten Brennstabbündel zu empfangen. Alle beiden Zwischenlager sind mit Wasser gefüllte Behälter.

In der Zone des Ausbildungsreaktors befinden sich die originellen 24 Stück 10% angereicherten Brennstabbündel Typ EK-10 (siehe Kapitel 4.3). Man lagert im Gebäude des Ausbildungsreaktors bestrahlte aber nicht abgebrannte Brennstoffe. Es gibt aus technischer Sicht keinen Unterschied zwischen den abgebrannten und bestrahlten Brennstoffen. Der Ausbildungsreaktor verfügt über den für die Bewegung der abgebrannten Brennstoffe innerhalb des Gebäudes notwendigen technischen Hintergrundes. Dazu steht ein fernbedienbarer Kran mit Kamera, 24 Stück im Betonschutz des Reaktorblocks für die Zwischenlagerung der bestrahlten Kassetten erstellten Lagertunnel sowie ein für die Bewegung der bestrahlten Kassetten geeigneter Container mit entsprechendem Strahlenschutz. Eine Entfernung der abgebrannten Brennstoffe aus der Aktivzone und eine Lagerung innerhalb des Gebäudes des Ausbildungsreaktors sind dagegen bis zum Ende der als Referenz dienenden Betriebszeit des Ausbildungsreaktors nicht zu erwarten. Die Auslagerung nach der endgültigen Stilllegung wird erwartungsgemäß mit dem Abtransport der abgebrannten Brennstoffe aus dem Gebäude zusammenfallen.

Das Nationalprogramm rechnet mit einer Stilllegung des Budapesters Forschungsreaktors im Jahre 2023 und des Ausbildungsreaktors im Jahre 2027 als Referenzfall. Man plant die abgebrannten Brennstoffe aller beiden Reaktoren gemäß dem, durch die Regierungsverordnung Nr. 204/2008 (VIII.19.) veröffentlichten „Abkommen zwischen der Regierung der Russischen Föderation und der Regierung der Ungarischen Republik über die Zusammenarbeit hinsichtlich der Ablieferung der abgebrannten Brennstoffe des Forschungsreaktors nach der Russischen Föderation“ nach Russland zurückzuliefern. Im Rahmen des Abkommens haben die russische und die beauftragten Vertreter der russischen und der ungarischen Vertragsparteien einen privatrechtlichen Vertrag für die Rücklieferung der im Eigentum des Budapesters Forschungsreaktors sich befindenden Brennstoffe, dazu gehören auch die in der Zone des Ausbildungsreaktors sich befindenden 24 Stück Brennstabbündel Typ EK-10, abgeschlossen. Man plant diesen Vertrag auf alle in dem Ausbildungsreaktor und dem Budapesters Forschungsreaktor entstehenden abgebrannten Brennstabbündel sowie die am Ende der Betriebszeit eventuell verbleibenden frische Gebinde auszuweiten.

Es ist zweckmäßig die Rücklieferung nach Russland in einer Phase auszuführen. Im Interesse deren hat man den vorübergehenden Zeitraum vor der Demontage des Budapesters Forschungsreaktors bis zum 2028-2029 zu verlängern. Die Brennstoffe des Ausbildungsreaktors können in einem Jahr nach der Stilllegung in das äußere Zwischenlager

des Budapester Forschungsreaktors übergeliefert werden. Heute ist das mit dem Container Typ TUK-19, zu dem auch die Trocknungstechnologie der Brennstabbbündel zur Verfügung steht, lösbar aber man hat die Entscheidung bezüglich des tatsächlich einsetzenden Containers erst in den, der Auslieferung voran gehenden Jahren zu fallen. Die Vorbereitung der Auslieferung des gesamten Brennstoffes nach Russland kann auf dem Gelände des Budapester Forschungsreaktors erfolgen. Sollten frische Brennstoffe auch am Ende der Betriebszeit in irgendwelchen Reaktoren verbleiben, dann sollte man diese in der gleichen Phase aber unter anderen Vorschriften ausliefern.

Die Auslieferung nach Russland muss unter solchen Bedingungen durchgeführt werden, dass alle Nebenprodukte aus der Wiederaufbereitung der abgebrannten Brennstoffe des Budapester Forschungsreaktors in Russland bleiben, was die Regierungsverordnung Nr. 204/2008. (VIII.19.) ermöglicht.

## **6 Endlagerung der radioaktiven Abfälle**

Die Politik der Endlagerung der radioaktiven Abfälle wird durch die nationale Politik wie folgt bestimmt:

„Die Endlagerung der in Ungarn entstehenden niedrig - und mittelradioaktiven Abfällen sind in Ungarn errichteten Lagern für radioaktive Abfälle zu verwirklichen. Die Lager sind so zu errichten, dass die Isolation der Abfälle von der lebenden Umgebung durch den Standort, das aufnehmende Gestein und die angewandten technischen Lösungen, den Charakteristiken der gelagerten Abfällen angepasst, gemeinsam zugesichert wird.“

Zwei Lager sind für die niedrig- und mittelradioaktiven Abfällen im Lande im Betrieb; die institutionellen radioaktiven Abfälle werden durch die Wiederaufbereitung und Lager radioaktiver Abfälle (im Weiteren RHFT) und die aus dem Atomkraftwerk durch das Nationale Endlager radioaktiver Abfälle (im Weiteren NRHT) empfangen. Das für den Empfang hochradioaktiver und langlebiger Abfälle geeignete geologische Tiefenlager befindet sich in der Phase der Standortwahl.

### **6.1 Lagerung und deren Terminierung der institutionellen niedrig- und mittelradioaktiven Abfälle**

Die Anwendung radioaktiver Materialien ab den 1950er Jahren in Ungarn geht naturgemäß mit der Entstehung radioaktiver Abfälle einher. Eine vorübergehende Lösung war das im Jahre 1960 in Solymár fertig gestellte Pilotlager für radioaktive Abfälle. Die Standortwahl des Pilotlagers war nicht ausreichend begründet und die technischen Lösungen der Anlage waren mangelhaft. Seine Kapazität war schnell erschöpft, so war zehn Jahren nach der Errichtung der Bau eines neuen Lagers für radioaktive Abfälle nötig.

### **6.1.1 Meilensteine der Verwirklichung des RHFT, seine gegenwärtige Gestaltung**

Die neue Anlage, das RHFT wurde am 22. Dezember 1976 in Püspökszilágy mit einer Kapazität von 3540 m<sup>3</sup> fertiggestellt. Das Lager wurde technisch durch die Schaffung eines in der Nähe der Erdoberfläche befindenden Beckens bzw. von Rohrbrunnen realisiert.

Man hat die Abfälle vom Standort Solymár im Laufe von 1979-1980 ins RHFT verlegt, dann den Standort bereinigt und abgeschlossen. Man hat danach für eine kontinuierliche Kontrolle der Umgebung gesorgt und die Behörde hat das Gebiet für beschränkte Benutzung befreit.

Mangels anderweitiger Bestimmung hat RHFT in der Anfangszeit seines Betriebs fast alle radioaktiven Abfälle übernommen, die während der Anwendung der nuklearen Technologie entstanden sind, so brachte man auch die langlebigen radioaktiven Abfälle dort unter.

Bei der Inbetriebsetzung des Atomkraftwerkes in Paks hat sich die natürliche Vorstellung ergeben, es wäre zweckmäßig, die infolge des Betriebs und der Demontage des Atomkraftwerkes entstehenden radioaktiven Abfälle in Püspökszilágy endgültig zu unterbringen. Das Ausmaß der Abfälle des Atomkraftwerkes hat jedoch die Kapazität von RHFT weit überschritten und eine wesentliche Erweiterung der Anlage, die den Bedarf des Atomkraftwerkes im vollen Maße decken hätte können, war wegen den Gegebenheiten des Standortes nicht zu verwirklichen. Die Lieferungen der festen niedrig radioaktiven Abfälle des Atomkraftwerkes aus Paks nach Püspökszilágy waren nur eine vorübergehende Lösung. Im Rahmen deren hat das Kraftwerk zwischen 1983-1989 und 1992-1996 2500 m<sup>3</sup> aus der Kapazität von RHFT in Anspruch genommen. In der Zwischenzeit der Einlieferungen hat man die Lagerkapazität von Püspökszilágy erweitert. Die erweiterte Lagerkapazität der Anlage beträgt insgesamt 5040 m<sup>3</sup>.

Der für den Zweck der Endlagerung errichtete äußere Lagerraum von RHFT liegt in der Nähe der Erdoberfläche, ist eine mit technischen Dämmen errichtete Anlage, die aus Becken mit Betonwänden und Rohrbrunnen mit Stahleinlagen besteht, wie es in der Abbildung 11 zu sehen ist. Die, die Unterbringung der Anlage gewährenden Bestandteile sind wie folgt.

#### *Becken Typ „A“*

Im RHFT gibt es insgesamt 66 Stück Behälterbecken Typ „A“. Diese Becken sind in vier Beckenreihen geordnet aufgestellt. Man hat in den Becken sowohl konditionierte (entsorgte) als auch unbehandelte Abfälle in Kunststoffsäcken, lose oder in Metallfässern untergebracht. In bestimmten Becken füllt man den Raum zwischen den Abfallpaketen mit niedrig aktivem kontaminiertem zementhaltigem Mörtel aus. Man bringt die konditionierten Abfälle in den vergangenen Jahrzehnten in diesem Lager nur noch in 200 L Metallfässer beziehungsweise in 1,2 m<sup>3</sup> Stahlblechcontainer unter.

#### *Becken Typ „C“*

Das Behältersystem Typ „C“ beinhaltet 8 Becken, die alle das gleiche Volumen von 1,5 m<sup>3</sup> aufweisen. In denen wurden die kontaminierten konditionierten (befestigten) organischen Lösungen untergebracht.

### Rohrbrunnen Typen „B“ und „D“

Die Behältereinheit Typ „B“ besteht aus 16 Stück Rohrbrunnen mit einem Durchmesser von 40 mm und 16 Stück mit 100 mm, im Betongrund eingefasst. Das Behältersystem Typ „D“ beinhaltet 4 Stück Rohrbrunnen mit einem Durchmesser von 200 mm. Die Rohrbrunnen mit Stahleinlage sind 6 m lang. Ursprünglich war die Praxis, dass man nach Unterbringung der Strahlquellen in den Brunnen, diese mit zementhaltigem Mörtel aufgefüllt hat. Man hat die Praxis der oben erwähnten Auffüllung abgeschafft, um die spätere Rückgewinnbarkeit zu erleichtern.

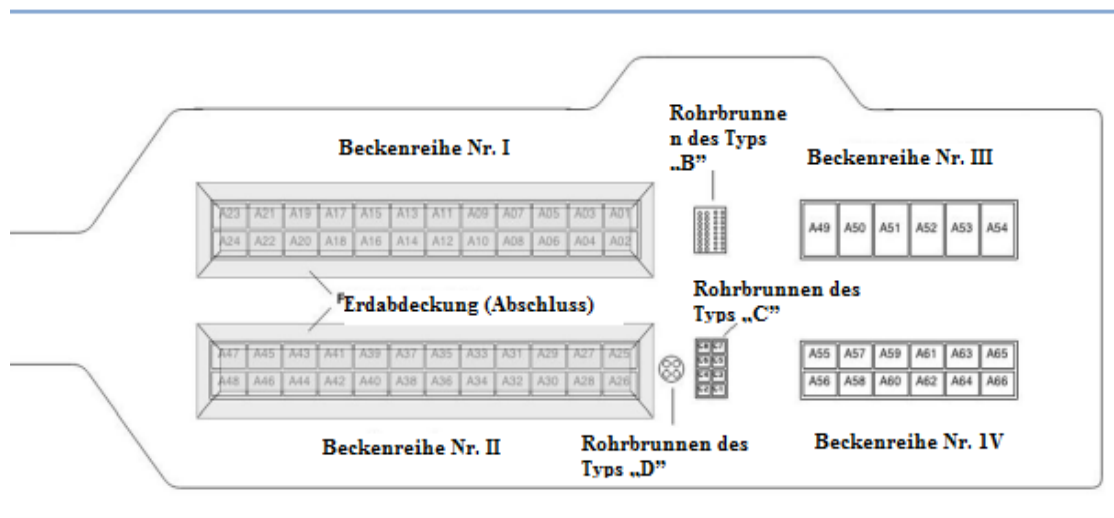


Abbildung 15: Anlagenteil des RHFT für Endlagerung

Es kann als ein bedeutender Meilenstein in der Geschichte des RHFT betrachtet werden, dass die Aufgaben der Anlage hinsichtlich Betrieb und Genehmigung durch den Rechtsvorgänger der RHK Kft. übernommen wurden. Die Arbeit wurde mit einer umfassenden Bewertung der Sicherheit des Abfalllagers begonnen, deren Ergebnisse im Kapitel 6.1.2 beschrieben sind.

Bedeutende Modernisierungen wurden am Standort von RHFT begonnen (diese sind im Kapitel 6.1.2 detailliert dargestellt). Die RHK Kft. hat fundierende Untersuchungen hinsichtlich der Durchführbarkeit der Rückgewinnung der Abfälle durchgeführt. Es wurden solche Technologien (Hitzkabine, Sortierbox, Verdichtungspressen, Zementierungsanlage) installiert, die für die sichere Entsorgung der übernommenen radioaktiver Abfälle beziehungsweise der schon eingelagerten und rückgewonnenen radioaktiver Abfälle nötig sind. Man hat im Betriebsgebäude die Möglichkeit für die Zwischenlagerung der radioaktiven Abfälle geschaffen, die am Standort nicht endgültig gelagert werden können. Zur Zwischenlagerung der radioaktiven Abfälle wird das Kellergeschoss des Betriebsgebäudes wie folgt benutzt.

### Lager mit Fässern im Kellergeschoss

Der größte Raum im Kellergeschoss ist der Lagerteil für die Fässer und der Lagerteil für die Container. Die Lagerung der Abfälle in Fässern erfolgt in sog. Tragrahmen (4 Fässer

pro Tragrahmen). In diesem Lagerteil können 1,2 m<sup>3</sup>-Container ebenfalls gelagert werden. Auch die lichte Höhe berücksichtigt, können 3 Stück Tragrahmen beziehungsweise 3 Container aufeinander gestapelt werden. Die Dicke der Stahlbetonwände passt sich an die Anforderungen für Strahlenschutz sowie Erdbebensicherheit an.

#### *Zwischenlager mit Rohrbrunnen*

Das am Ende des Korridors des Kellergeschosses sich befindende Strahlenquellen-Lagersystem aus 50 Stück Rohrbrunnen wurde für die Zwischenlagerung von in Torpedos unterbrachten Gamma- und Neutronquellen geschaffen. Die Unterbringung der Strahlenquellen mit langer Halbwertszeit (mehr als 30 Jahre) kann nur im Zwischenlager erfolgen.

#### *Lager für Nuklearmaterial*

Man hat im Lager für Nuklearmaterial die Nuklearmaterialien<sup>4</sup> und die Neutronquellen unterzubringen. Im Laufe der Entsorgung der Nuklearmaterialien hat man den Gesichtspunkten des Strahlenschutzes hinaus die sonstigen chemischen Eigenschaften und die Gefahrencharakteristiken bestimmter Nuklearmaterialien in Betracht gezogen. Aus dem Aspekt der Unterbringung der für Zwischenlagerung eingelieferten Nuklearmaterialien waren die Fragen des Feuerschutzes und die Schaffung der Bedingungen der Absicherungskontrolle (safeguards) maßgebend.

### **6.1.2 Erhöhung der Sicherheit und Freisetzung von Kapazitäten**

Die im Jahre 2002 durchgeführte präzisierte Sicherheitsbewertung bestätigte, dass die Betreuung des RHFT und die Sicherheit der Umgebung bis zum Ende der institutionellen Kontrollperiode entsprechend garantiert sind und die Anlage zur Endlagerung der den Abnahmekriterien entsprechenden radioaktiven Abfälle (mit kurzer Lebensdauer, geringer und mittlerer Aktivität) institutioneller Herkunft geeignet ist. Zugleich machte sie darauf aufmerksam, dass nach Beendigung der institutionellen Kontrolle solche Szenarien vorstellbar sind, deren nach die früher untergebrachten langlebigen Abfälle eine den Dosis-Grenzwert übersteigende Strahlenbelastung der Bevölkerung verursachen können. Im Interesse der Bestimmung des Kreises der Abfälle, die im Lager endgültig untergebracht werden können, wurden die Ableitung des System der Übernahmekriterien der radioaktiven Abfälle sowie die Einführung deren Anwendung an Hand der Sicherheitsbewertung und den internationalen Erwartungen entsprechend durchgeführt.

Ein anderes Problem bezüglich des RHFT besteht darin, dass die Lagerkapazität der Anlage praktisch erschöpft ist. Im Interesse des störungsfreien Betriebs des RHFT für noch mehrere

---

<sup>4</sup> Nuklearmaterial: das radioaktive Material, das für selbst erhaltende nukleare Kettenreaktion fähig ist oder befähigt werden kann, besonders das Uran, das Thorium, das Plutonium und jegliches Material, das unter den vorigen ein oder mehr in einer wirtschaftlich rückgewinnbaren Konzentration enthält, Erzen und Erzabfälle aus dem Bergbau oder Erzverarbeitung ausgenommen

Jahrzehnte muss die dazu notwendige Kapazität geschaffen werden. Aufgrund der Ergebnisse der Sicherheitsanalysen zeichnen sich die Obliegenheiten, die im Interesse der Gewährung der verlangten Sicherheit für ein längeres Zeithorizont beziehungsweise der Gewährung weiterer Lagervolumen zu erfüllen sind. Als Ergebnis eines längeren Vorbereitungsprozesses hat sich der Terminplan des vollen Programms für die Erhöhung der Sicherheit und die Freisetzung von Kapazitäten, was mit der Demonstrationsphase beginnt, zusammengestellt.

Im Besitz der notwendigen Vorbereitungsstudien und Genehmigungen hat die Durchführung des, die Rückgewinnbarkeit der radioaktiven Abfälle demonstrierenden Programms begonnen, das die Ausarbeitung der technischen Details des Programms vor der Entscheidung über einen größeren Eingriff zum Ziel hatte. Es war ferner wichtig zu bescheinigen, dass die geplanten Tätigkeiten die langfristige Strahlensicherheit im erwarteten Maße erhöhen und die den vorgeschriebenen Anforderungen der Arbeitsplatz- und Umweltsicherheit entsprechend ausgeführt werden können.

Im Rahmen des zwischen 2006-2009 durchgeführten Demonstrationsprogramms hat man durch die Aufmachung von vier Becken 280 m<sup>3</sup> Lagervolumen geöffnet. Nach Sortierung und bei Bedarf Konditionierung und Umpackung der radioaktiver Abfälle wurden die den Übernahmekriterien nicht entsprechenden Paketen zwischengelagert (einen 85 m<sup>3</sup> Lagerraum verlangende Abfallmenge). Die endgültig zurückgesetzte Abfallmenge benötigt 170 m<sup>3</sup> Lagervolumen. Aufgrund des in Bezug auf 4 Becken durchgeführten Demonstrationsprogramms kann man erklären, dass der geplante Eingriff erfolgreich war, da alle beiden gestellten Ziele, wie die Identifizierung und Aussonderung eines bedeutenden Teils der aus der Sicht der langjährigen Sicherheit kritischen Abfallpaketen sowie die Schaffung freier Lagervolumen erfüllt wurden. Die Rückgewinnung der radioaktiven Abfälle, auch bei nur halbwegs betonierten Becken war relativ einfach zu verwirklichen.

### **6.1.3   Betriebung des RHFT, Versorgung der radioaktiven Abfälle**

Am Standort in Püspökszilágy bedeutet die normale Betriebstätigkeit die Anlieferung radioaktiver Abfälle, die Entsorgung der Abfälle (Sortierung, Einstufung, Konditionierung), die Zwischenlagerung bzw. die Endlagerung. Die normale Betriebstätigkeit wurde seit Frühjahr 2007 um das sogenannte sicherheitserhöhende Programm erweitert, bei der die früher, doch den heutigen Anforderungen nicht entsprechend untergebrachten radioaktiven Abfälle wieder gehoben, sortiert, konditioniert und erneut untergebracht werden.

Der Vorgang der weiteren Behandlung der in das Betriebsgebäude angekommenen beziehungsweise im Laufe der Erhöhung der Sicherheit zurückgewonnener und hierher gelieferter Abfälle ist von deren Typ abhängig unterschiedlich. Die Strahlenquellen, das Nuklearmaterial, die zu verdichtenden und nicht zu verdichtenden Komponenten der gemischten festen Abfälle bzw. die flüssigen Abfälle werden separat behandelt.

Die Ausmontierung, Umpackung und Einkapselung der verbrauchten beziehungsweise überflüssig gewordenen Strahlenquellen erfolgt in der Hitzkabine des Betriebsgebäudes. Hier werden die Strahlenquellen zu der Lagerung in Rohrbrunnen in rostfreie Behälter, sog.

„Torpedos“ gelegt. Die Zwischenlagerung der Strahlenquellen erfolgt in erster Linie in den Rohrbrunnen im Kellergeschoss des Betriebsgebäudes. Die hochaktiven und langlebigen Strahlenquellen gelangen hierher. Die Isotopen mit kurzer Halbwertszeit beinhaltenden Strahlenquellen dürfen nur in die, sich im äußeren Lagerraum befindenden, Rohrbrunnen gelagert werden. Die Bewegung der für Unterbringung fertig gestellten Torpedos innerhalb des Standortes erfolgt mit Hilfe eines Arbeitscontainers.

Im Nuklearmateriallager sind die nuklearen Materialien (Plutonium, Uran und Thorium) sowie ein Teil der Neutronquellen ( $^{239}\text{Pu}$ -Be,  $^{252}\text{Cf}$ ) zu unterbringen. Nukleare Materialien beinhaltende Abfälle dürfen nur vorübergehend im RHFT, in dem dafür bestimmten Behälter gelagert werden. Das ankommende oder im Laufe der Erhöhung der Sicherheit zurückgewonnene Nuklearmaterial wird im Bedarfsfall umgepackt.

Das ankommende oder im Laufe der Erhöhung der Sicherheit zurückgewonnene nukleare Material hat man im Bedarfsfall zu sortieren. Es ist nötig, die verdichtbaren und nicht verdichtbaren Komponenten der gemischten festen Abfälle separat zu behandeln beziehungsweise es kann im Abfallpaket eine Komponente vorkommen, die durch die sich auf die Endlagerung beziehenden Übernahmekriterien nicht zugelassen wird, dann ist sie aus dem Paket zu entfernen. Die Sortierbox dient der Sortierung der Abfälle.

Die verdichtbaren Abfälle werden mit der dafür bestimmten Presse in 200 Liter Blechfässern verdichtet. Die nicht verdichtbaren Komponenten werden in Fässer oder in 1,2 m<sup>3</sup> Blechcontainer untergebracht und mit Zement fixiert.

Die eingelieferten beziehungsweise am Standort entstehenden flüssigen radioaktiven Abfälle in kleiner Menge werden in die sich im Kellergeschoss befindenden Behälter gesammelt und im Falle der Vollladung der Sammelbehälter mit Hilfe der dort aufgestellten Zementierungsanlage befestigt.

Es wird über die Zwischenlagerung beziehungsweise Endlagerung der radioaktiven Abfälle nach Einstufung der radioaktiven Abfälle entschieden. Wenn die in Fässern beziehungsweise in Containern untergebrachten Abfälle den, für die Endlagerung ausgearbeiteten Übernahmekriterien entsprechen, werden sie in den am äußeren Lagerraum sich befindenden Becken Typ „A“ endgültig untergebracht. Wenn das Abfallpaket den Anforderungen für die Unterbringung nicht entspricht, kommt es in den vorübergehenden Lagerraum im Kellergeschoss des Technologiegebäudes des RHFT. Man plant die im vorläufigen Lagerraum sich befindenden Abfälle nach Inbetriebsetzung des geologischen Tiefenlagers endgültig in dieser Anlage zu unterbringen.

Der Standort wird ab Mitte 1998 durch die RHK Kft betrieben. Der Standort hat in den vergangenen mehr als 15 Jahren von mehr als 370 Firmen und Institutionen radioaktive Abfälle übernommen. Es kommt jährlich durchschnittlich zu 50 Abfallübernahmen aber in bestimmten Jahren können auch 100 Einlieferungen vorkommen. In den meisten Fällen erfolgt die Übernahme außerhalb des Standortes und das Personal des Standortes führt die Einlieferung aus. Die Abbildungen 4 und 5 zeigen die Diagrammen über die Menge der während der vergangenen 15 Jahre eingelieferten radioaktiven Abfälle und die der eingelieferten verbrauchten geschlossenen Strahlenquellen.



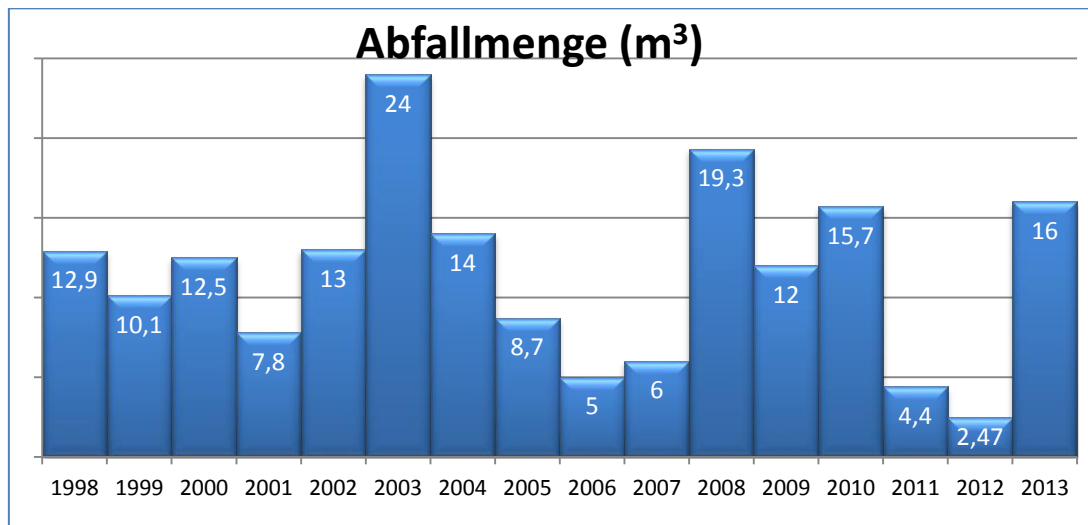


Abbildung 16: Entwicklung der in das RHFT eingelieferten Abfallmenge in den vergangenen Jahren

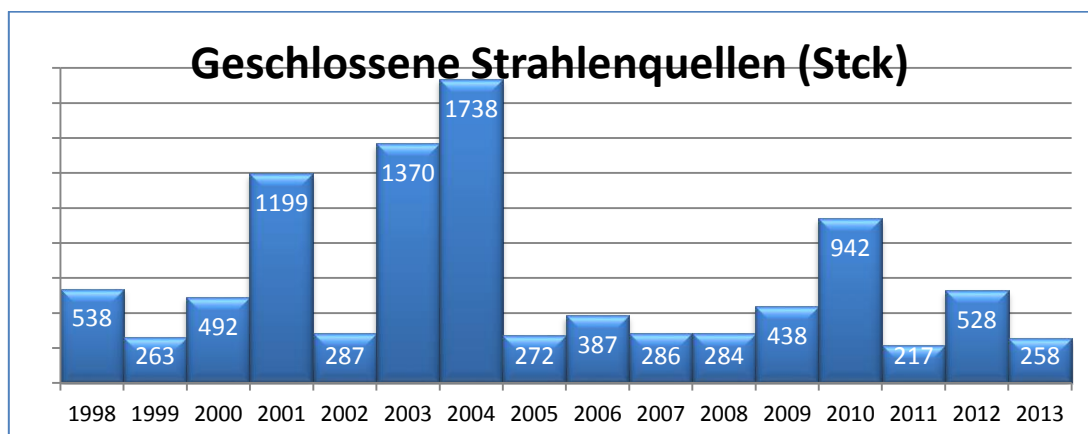


Abbildung 17: Entwicklung der in das RHFT eingelieferten Menge der geschlossenen Strahlenquellen in den vergangenen Jahren

#### 6.1.4 Das Schließungskonzept des RHFT, institutionelle Kontrolle

Die Bedeckung der Lagerbecken Typ „A“ wurde nach der Vollladung jeweils 1-1 Beckenpaars wie folgt gemacht. Die gegenwärtige Erddeckung der Beckenreihe der Lagerräume I. und II. wurde von der Straßenebene gemessen 2 m hoch von beiden Seiten mit 45-Grad-Böschungen errichtet. Ihre Neigung beträgt am oberen Teil etwa 1%. Ihr Material ist den ursprünglichen Plänen entsprechend, der im Laufe der Geländeplanie erhobene tonhaltige Boden. Ihr Ziel ist, Senkung der Strahlendosis des Betriebsgeländes und Schutz der

Betonstrukturen gegen äußere Einwirkungen und Frost des Niederschlages. Die Erddeckung entspricht in ihrem gegenwärtigen Zustand voll den obigen Zielen. Sie kann an Hand ihrer Fertigungstechnologie mit einer 3-schichtigen Struktur charakterisiert werden. An der obersten Schicht hat sich eine 10-15 cm dicke Obererde gebildet, unter der eine etwa 60 cm dicke lockere und nicht gedichtete Schicht liegt. Über dem Kopfteil der Lagerbecken liegt eine etwa 1,3 - 1,5 m dicke dichte tonhaltige Schicht.

Die gegenwärtige Erddeckung ist als vorübergehend zu betrachten. Das, den in der Sicherheitsbewertung formulierten Anforderungen entsprechende endgültige Deckungskonzept soll in der Zukunft bestimmt werden. Auch die gegenwärtige Erddeckung beschränkt schon etwa 10 mm pro Jahr die durchsickernde Flüssigkeit und mit deren Ergänzung kann der zu erwartende Grenzwert von einigen mm pro Jahr erfüllt werden. Im Zuge der bisher durchgeführten Sicherheitsanalysen wurde angenommen, dass die, durch die Erddeckung durchsickernde Flüssigkeit den 5 mm pro Jahr Wert nicht überschreiten wird. Man hat ein Demonstrationsprogramm für die Bescheinigung der Konformität der endgültigen Schließung für die, der Schließung des Lagers vorangehenden Jahrzehnte vorgesehen.

Die sich oberirdisch befindenden Lager für radioaktive Abfälle sind außerordentlich empfindlich auf unbeabsichtigtes menschliches Eindringen. Internationale Empfehlungen schlagen eine institutionelle Kontrolle für die Beschränkung dessen vor. Die von der Oberfläche erreichbaren Teile des Unterbringungssystems sollen nach der Abdeckung des Lagers instand gehalten werden. Dabei müssen die oberirdischen Wasserabführungen gereinigt, die Erddeckung gegen Pflanzen mit langen Wurzeln geschützt sowie der Zaun instand gehalten werden. Außerdem wird das Monitoring des Standortes und der Umgebung des Lagers für radioaktive Abfälle fortgesetzt. Gültige Rechtsvorschriften bestimmen die Länge der sog. aktiven institutionellen Kontrolle in mindestens 50 Jahren. Da in der internationalen Praxis die aktive institutionelle Kontrolle im Falle der oberirdischen Lager 100-300 Jahre beträgt, rechnet die RHK Kft. in seinen Analysen mit einem aktiven institutionellen Kontrollzeitraum von 150 Jahren. Danach kann der Zaun demontiert werden und die weitere Instandhaltung und Wartung des Standortes erübrigt sich.

Der Ort und die Charakteristiken der Anlage bleiben unabhängig davon während der sog. Passiver institutionellen Kontrolle (z.B. im Register der Grundbuchämter, Datenbanken) bekannt, demnach hat man anzunehmen, dass die Informationen hinsichtlich der Anlage vergessen wurden.

### **6.1.5 Zukünftige Meilensteine des RHFT**

Neben der Fortsetzung der normalen Betriebstätigkeit ist die wichtigste langfristige Aufgabe des RHFT die Fortsetzung des, die Erhöhung der Sicherheit und die Freisetzung von Kapazitäten vorsehenden Programms. Im Interesse dessen ist der Bau einer großen mit Kran versehenen Leichtbauhalle notwendig, die über einen, die Entsorgung der Abfälle sichernden Raum verfügt. Die Halle wird für die Abdeckung einer Beckenreihe (24 Stück 70 m<sup>3</sup> Becken) angefertigt und gewährt entsprechende Arbeitsbedingungen für die Rückgewinnung bzw. übt

die für die Arbeitsleistung notwendigen radiologischen und umweltschützenden Funktionen aus. Laut den gegenwärtigen Plänen wird die Halle bis Anfang 2017 fertiggestellt.

In Bezug auf die Beckenreihen Nr. I. und II. d.h. 48 Becken, ist es ratsam, bei 24 Becken die gesamte, bei 20 die teilweise Rückgewinnung durchzuführen (4 Stück Becken wurden im Demonstrationsprogramm schon aufgearbeitet).

In der dem Sicherheitsprogramms folgenden Phase erfolgt die Rückgewinnung, Verarbeitung und Wiederablagerung des Inhalts der Beckenreihe Nr. III. und IV. sowie die Beseitigung der Lagerbecken des Typs „C“ mit geringer Tiefe.

Man hat als Abschluss des Programms die Erhöhung der Sicherheit die Rückgewinnung der Strahlenquellen in den Rohrbrunnen Typ „B“ und „D“ sowie die Art und Weise der Überlieferung deren in das geologische Tiefenlager zu fundieren und vorzubereiten. Man muss die Auflösung der Rohrbrunnen durchführen.

Die Tabelle 16 beinhaltet die langfristig auftauchenden Aufgaben bezüglich RHFT.

*Tabelle 16: Langfristige Aufgaben bezüglich des RHFT*

<b>Terminierung</b>	<b>Tätigkeit</b>
2015-2017	Errichtung der Leichtbauhalle
2017-2022	Rückgewinnung, Wiederaufbereitung, Wiederablagerung Durchführung hinsichtlich der Kammer A01-A24 der Beckenreihe Nr. I.
2023-2029	Rückgewinnung, Wiederaufbereitung, Wiederablagerung Durchführung hinsichtlich der Kammer A24-A48 der Beckenreihe Nr. II.
2030-2037	Rückgewinnung, Verarbeitung und Wiederablagerung des Inhalts der Beckenreihe Nr. III. und IV. sowie die Beseitigung der Lagerbecken des Typs „C“ mit geringer Tiefe
2038-2039	Errichtung einer Pilot-Deckenabdeckung
2040-2060	Betriebung einer Pilot-Deckenabdeckung
2061-2064	Rückgewinnung der Strahlenquellen in den Rohrbrunnen Typ „B“ und „D“, Vorbereitung deren Überlieferung in das geologische Tiefenlager
2064-2066	Überlieferung der in der Anlage gelagerten langlebigen radioaktiven Abfälle in das geologische Tiefenlager Errichtung der endgültigen Erddeckung der Becken Typ „A“
2067	Abschluss der endgültigen Schließung der Anlage, Beginn der aktiven institutionellen Kontrolle

## **6.2 Unterbringung niedrig - und mittelradioaktiver Abfälle aus dem Kraftwerk**

Nachdem die Erweiterung der Anlage von Püspökszilágy in einem Ausmaß, die den gesamten Bedarf des Atomkraftwerks befriedigen würde, nicht realisierbar war, wurde ab 1993 das Nationale Projekt gestartet, dessen Ziel die Lösung der Endlagerung der radioaktiven Abfälle mit geringer und mittlerer Aktivität des Atomkraftwerks in Paks war.

### **6.2.1 Meilensteine der Verwirklichung des NRHT, seine gegenwärtige Gestaltung**

Im Rahmen des Nationalen Projektes begann die Vorbereitung der Standortwahl. Man hat aufgrund der Angaben in der Fachliteratur das ganze Territorium des Landes durchschaut, dann in den viel versprechenden Regionen, wo das durch die Bevölkerung unterschützt wurde, vorgängige Forschungen vor Ort im Interesse der Identifizierung für ober- und unterirdische Unterbringung geeigneter tektonischen Objekte durchgeführt. Es ist wichtig zu betonen, dass neben der technischen Eignung auch die gesellschaftliche Akzeptanz ein wichtiger Gesichtspunkt war, so wurde ein kombinierter Standortwahlprozess verwirklicht.

Das Abschlussdokument der tektonischen technischen Sicherheits- und wirtschaftlichen Untersuchungen hat weitere Untersuchungen in der Gegend von Bátaapáti zur unterirdischen Lagerung in Granit vorgeschlagen. Als Alternativen wurden weitere Standorten (in der Region von Udvari, Némekér und Diósberény) für die Errichtung eines oberirdischen Lagers in Betracht gezogen. Bátaapáti wurde auch dem Aspekt nach günstig eingeschätzt, dass sie nicht weit von dem Atomkraftwerk entfernt, an demselben Ufer der Donau liegt. So wurde im Jahre 1997 entschieden, detailliertere Forschungen in der Gegend von Bátaapáti zu beginnen. Die oberirdischen geologischen Forschungen dauerten in mehreren Phasen bis 2003. Inzwischen wurden mehrere Sicherheitsbewertungen angefertigt, die die Durchführbarkeit des Lagers, die Gewährung der Sicherheit untermauert haben.

Über die geologischen Forschungen wurde Ende 2003 ein Abschlussbericht angefertigt, laut dessen wichtigster Feststellung „der Standort von Bátaapáti sämtlichen in der Verordnung formulierten Anforderungen erfüllt, sodass es geologisch zur Endlagerung von radioaktiven Abfällen mit geringer und mittlerer Aktivität geeignet ist.“ Zu diesem Dokument nahm die zuständige tektonische Behörde, das Regionale Amt Südtransdanubien des Ungarischen Geologischen Dienstes Stellung und nahm es mit ihrem Beschluss an.

Der für die Periode von 2004-2007 angefertigte unterirdische Forschungsplan war auf die Bestimmung des aufnehmenden Gesteinsvolumens des Lagers gerichtet. Die unterirdischen Forschungsarbeiten begannen im Februar 2005 mit der Vertiefung der Gefällestellen.

Auf die Initiative der Verordnetenversammlung von Bátaapáti wurde im Jahre 2005 eine Volksabstimmung über Willensäußerung in der Gemeinde durchgeführt. Bei einer hohen Beteiligung (75%) haben sich etwa 90,7% der Stimmenabgeber damit einverstanden erklärt, dass man in Bátaapáti ein Lager für niedrig- und mittelaktive radioaktive Abfälle baut. Die

ungarische Landesversammlung hat am 21. November 2005 mit ihrem Beschluss Nr. 85/2005 (XI.23.) über die vorläufige Zustimmung zum Beginn der vorbereitenden Tätigkeit der Errichtung eines Lagers für niedrig- und mittelaktive radioaktive Abfälle und Verlängerung der Betriebszeit des Atomkraftwerkes in Paks eine theoretische Zustimmung gemäß den Bestimmungen des Gesetzes über Atomenergie für den Beginn der vorbereitenden Tätigkeit der Errichtung eines Lagers für niedrig- und mittelaktive radioaktive Abfälle an dem früher schon tektonisch geeignet gefundenen Gebiet erteilt.

Der Bau des NRHT wird in mehreren Phasen realisiert, dieser phasenweisen Errichtung passt sich die Inbetriebnahme und die Betriebsgenehmigung der einzeln fertiggestellten Anlagenteile an.

In der ersten Phase wurden Mitte 2008 die oberirdischen Anlagen des NRHT, das zentrale und das Technologiegebäude fertiggestellt. So wurde aufgrund der am 25. September 2008 erteilten Betriebsgenehmigung die Abnahme eines Teils der im Atomkraftwerk in Paks angehäuften festen Abfälle (verdichtete gemischte feste Abfälle, in 200 L Fässern verpackt) und die technologische Lagerung im Interesse der Vorbereitung zur Endlagerung möglich.

In der zweiten Phase der Bauarbeiten wurden zum Jahr 2012 die ersten zwei Lagerkammer (I-K1 und I-K2) realisiert und die diesen dienenden technologischen Systeme gebaut. Der, der endgültigen Lagerung dienende Bereich, der sich 250 m unterirdisch befindet, kann über zwei, einzeln 1700 m lange Annäherungstollen mit einem Gefälle von 10% erreicht werden. Unter den sogenannten Gefällestollen dient der westliche als Teil der kontrollierten Zone der Anlieferung der radioaktiven Abfälle, während der östliche dem Weiterbau des Lagers.

Nach der erfolgreichen Fortsetzung des nötigen Genehmigungsverfahrens für die Betreibung konnte die endgültige Unterbringung der radioaktiven Abfälle in den Lagerkammern I-K1 begonnen werden. Da man den Vortrieb mittels Bohr- und Sprengarbeiten durchführt, spielt die Lagerkammer I-K2 den Vorschriften der Behörden entsprechend eine Pufferrolle zwischen den betreibenden und unter Auffahrung stehenden Kammern.

### **6.2.2 Betrieb des NRHT**

Die Beförderung der radioaktiven Abfälle aus dem Atomkraftwerk in Paks in das NRHT erfolgt auf öffentlichen Straßen. Man hebt die Fässer in die Förderfahrzeuge in sog. Tragrahmen, es erfolgt die Beförderung von 16 Fässern auf einmal. Nachdem der Transport im NRHT angekommen ist, der Kraftfahrzeug fährt in das Technologiegebäude ein, der 2,5 t schwerer Kran hebt den aus und unterbringt die Tragrahmen in den dafür erstellten Raumteil der Technologiehalle (siehe Abbildung Abbildung). Man kann in dem technologischen Lagerraum höchstens 3000 Stück 200 L Fässer unterbringen.

Alle relevanten Informationen, die über die einzelnen Abfallpaketen entstehen, werden im Abfallregistersystem, in dem alle Pakete mit individueller Identifikation versehen werden, elektronisch erfasst. Im Zuge der Übernahme der radioaktiven Abfälle überzeugt sich der

Lizenzinhaber des Lagers durch die notwendigen Kontrollen über die Erfüllung der Anforderungen der Abfallübernahme.



*Abbildung 18: Technologische Lagerung der radioaktiven Abfälle in der oberirdischen Anlage des NRHT*

Zur endgültigen Lagerung werden die Abfälle beinhaltenden Fässer in Stahlbetoncontainer so gelegt, dass in alle Container neun Fässer kommen. Dann wird die Decke auf die Container befestigt und die Hohlräume in den Containern mit inaktivem Beton aufgefüllt. Im Interesse der erfolgreichen Raumausfüllung und der Homogenität wird die Auffüllung auf Schütteltisch durchgeführt. Die fertiggestellten Stahlbetoncontainer werden nach einer 7 tägigen Trockenzeit in den unterirdischen Lagerkammern endgültig so untergebracht, dass man in einem Segment der Kammer 19 Container unterbringen kann, das durch die Abbildung veranschaulicht wird.



*Abbildung 19: Unterbringung von Stahlbetoncontainern in der Lagerkammer I-K1 des NRHT*

Gegenwärtig (01.01.2015) werden im oberirdischen Technologiegebäude 2231 Stück 200 L Fässer zwischengelagert und in der Lagerkammer I-K1 wurden in 361 Stahlbetoncontainer 3249 Stück 200 L Fässer endgültig untergebracht. Die Rückverfüllung der Lagerkammer wurde gegenwärtig noch nicht ausgeführt, es kommt erst vor der Schließung des Kammerfeldes dazu.

### **6.2.3 Weitere Meilensteine des NRHT**

Das erste Streckensystem des Kammerfeldes NRHT zeigt die Abbildung 20. Unseren gegenwärtigen Kenntnissen nach kann man in diesem Raumteil sechs Lagerkammern errichten; vier auf der östlichen Seite waagrecht auf die Verbindungsstrecke der Kammer und zwei auf der westlichen Seite fast parallel dazu.



Abbildung 20: Das Streckensystem des Kammerfeldes I. des NRHT

Parallel zur Inbetriebnahme der ersten Lagerkammer kann die Vorbereitung des Weiterbaus der NRHT beginnen: All das bedeutet die Ausarbeitung und das Genehmigungsverfahren einer solchen neuen Lagerkonzeption und eines Lagersystems, das die Schaffung eines möglichst großen Lagerraums sowie eine möglichst effiziente Platzausnutzung der Lagerkammern in dem zur Verfügung stehenden Bereich ermöglicht.

Die Grundlage der neuen Lagerkonzeption sind dünnwandige Stahlcontainer, in die auf dem Gelände des Atomkraftwerks vier – feste radioaktive Abfälle enthaltende – Fässer gesetzt werden und der leere Raum wird mit dem aus den flüssigen Abfällen des Atomkraftwerks gebildeten aktiven Zementbrei ausgefüllt. Die so zusammengestellte Einheit wird ein kompaktes Abfallpaket genannt.

In der früheren Lagerungskonzeption bildete der Stahlbetoncontainer ein ingenieurmäßiges Dammsystem, die von ihm bekleideten Funktionen werden durch das in die Lagerkammern gebaute Stahlbetonbecken übernommen. In diesen Becken werden später die kompakten Abfallpakete gelagert.

Man hat, wie früher schon erwähnt wurde, die Lagerkammer I-K2 gemeinsam mit der Lagerkammer L-K1 in der Segmentgröße von  $96\text{m}^2$  erbaut. Die kompakten Abfallpakete in 6



Säulen und 5 Reihen in einem Segment können in dem hier zu erbauenden Stahlbetonbecken untergebracht werden. Nach der durchgeführten Optimierung war es gelungen eine Segmentgestalt von 115 m<sup>2</sup> zu finden, in dem die Abfallpakete in 7 Säulen und in 6 Reihen untergebracht werden können, wie es durch die Abbildung 17 gezeigt wird.

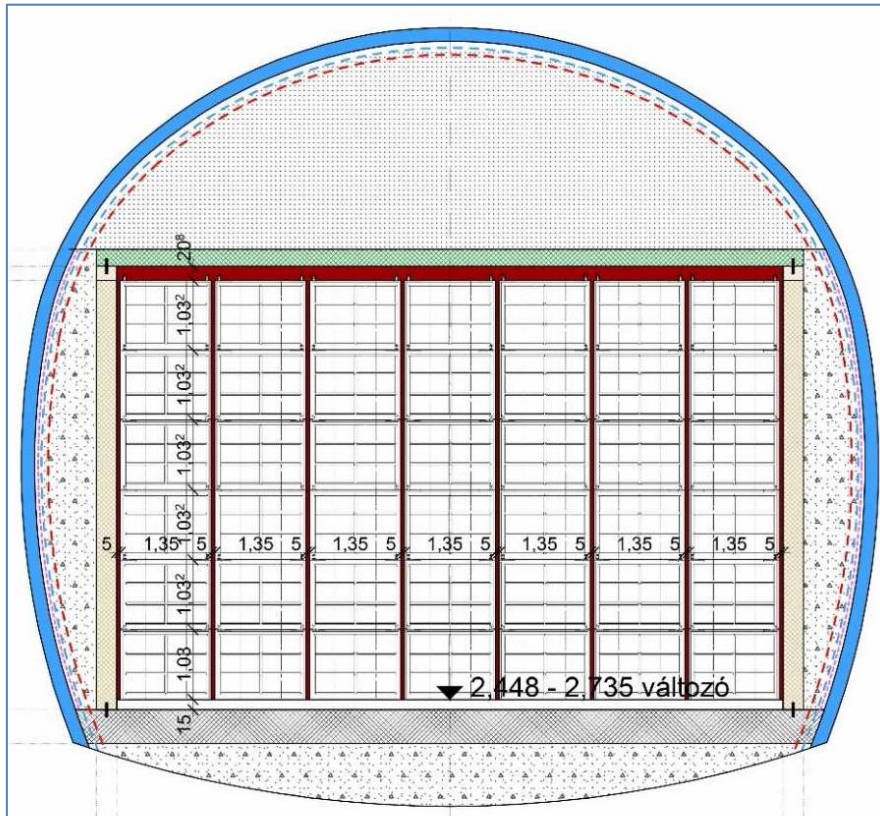


Abbildung 21: Optimiertes Unterbringungssystem zu der Unterbringung der kompakten Abfallpakete

Die Effektivität der Lagerung wird dadurch weiter erhöht, dass im Stahlbetonbecken I-K2 sowie auf der Abdeckung der abgeschlossenen Stahlbetonbecken Fässer mit niedrig aktiven festen Abfällen untergebracht wurden, die Durchführbarkeit der Lösung wurde durch Sicherheitsbewertung bescheinigt.

Mit der geplanten Optimierung des Unterbringungssystems kann das Verhältnis der radioaktiven Abfälle im nützlichen Volumen der Lagerkammern von 19% auf 50% erhöht werden. Damit können etwa HUF zwanzig Milliarden erspart werden, vor allem infolge der Senkung der Anzahl der aufzufahrenden Lagerkammern.

Die Umweltschutz- und Gründungsgenehmigung des NRHT wurde aufgrund der notwendigen begründenden Analysen und Sicherheitsbewertungen wegen das Unterbringungssystem betreffenden, oben aufgeführten Modifizierungen abgeändert. Im Besitz der gegenwärtig gültigen Genehmigungen führt man die Auffahrung der Lagerkammern I-K3 und I-K4 durch. Man hat danach den Stahlbetonbecken in der Kammer I-K2 im Interesse der Inbetriebnahme

dessen, der Auslieferungsphase des Atomkraftwerkes in Paks im Jahre 2017 angepasst, zu erbauen.

Die weitere Erweiterung der Anlage soll der Auslieferungsphase des Atomkraftwerkes angepasst geplant werden. Die Tabelle 17 beinhaltet aufgrund deren, die Abfälle der vier gegenwärtig betreibenden Atomkraftwerkblöcke in Betracht gezogen, die zu erwartenden Zeitpunkte der Inbetriebnahme der weiteren Kammern sowie die weiteren Meilensteine des Lagers.

*Tabelle 17: Die zukünftigen Meilensteine des NRHT mit Berücksichtigung der gegenwärtig betreibenden vier Blöcke*

<b>Terminierung</b>	<b>Tätigkeit</b>
2017	Inbetriebnahme der Lagerkammer I-K2
2020	Inbetriebnahme der Lagerkammer I-K3
2026	Inbetriebnahme der Lagerkammer I-K4
2035	Inbetriebnahme der Lagerkammer I-N1
2042-2061	Ruhezeit, Zustandswartung, Ausführung von Monitoring (es folgt keine Anlieferung von Abfällen in diesem Zeitraum)
2062-2069	Inbetriebnahme der Lagerkammer I-N2, dann Erweiterung des Lagers, Anlieferung und endgültige Unterbringung der Demontage-Abfälle
2081-2084	Demontage und Schließung der Anlage
2085	Beginn der institutionellen Kontrolle

#### **6.2.4 Das Schließungskonzept des NRHT, institutionelle Kontrolle**

Nach der endgültigen Unterbringung der letzten übernommenen Abfallpakete muss man aufgrund des gegenwärtigen Schließungsplanes für die Beseitigung der Kontamination und die Demontage (beziehungsweise anderweitige Verwertung) der, dem Empfang, der Wiederaufbereitung, Verpackung und Pufferierung dienenden oberirdischen Gebäude sowie der darin sich befindenden technologischen Systemen ferner die Reinigung des Standortes von den eventuellen industriellen und radioaktiven Kontaminationen sorgen. Alle im Laufe dieser Tätigkeiten entstehenden radioaktiven Abfälle müssen im, für diesen Zweck vorbehaltenen Teil des unterirdischen Lagers endgültig untergebracht werden. Die endgültige Schließung (Aufhören) des unterirdischen Lagers hat man danach zu beginnen.

Der Raum zwischen den Stahlbetoncontainern in der Lagerkammer I-K1 und der Stollenwand wird nach der vollen Auffüllung des ersten Kammerfeldes dicht gemacht. Die Rückverfüllung erfolgt aus Beton, in dem Granitschotter als Hilfsstoff gegeben wird. Die Rückverfüllung der neuen kompakten Abfallpakete erfolgt phasenweise, parallel zur Unterbringung der Abfälle. Die Pläne haben an dem, den Verbindungsstrecken jeder Lagerkammer anschließenden sog. Halsglied einen Verschlussstöpsel vorgesehen.

Man plant die Verfüllung des Bedienungs- und Zugangstollensystems mit zerstoßenem Granit so, dass an bestimmten Stellen aus Beton beziehungsweise Betonit hergestellte unterbrechende Stöpsel eingebaut werden. Unter diesen Stöpseln spielen die sog. sperrenden Verschlussstöpsel eine hervorragende Rolle. Die, das Schließungskonzept begründende hydrogeologische Modellierung hat ausgewiesen, dass aus der Sicht der langfristigen radiologischen Sicherheit des Lagers eine Schlüsselaufgabe ist, die Rückschließung der wassersperrenden brüchigen Gürtel, die durch die Zugangstollen (geneigte Schächte) gequert werden. Laut dem erweiterten Konzeptplan der Schließung soll man bei diesen Querungen sog. sperrende Verschlussstöpsel errichten. Man plant am Öffnungspunkt ebenfalls ein Verschlussstöpsel im Interesse der Senkung der Wahrscheinlichkeit des unbeabsichtigten menschlichen Eindringens.

Das NRHT ist ein, für die Unterbringung niedrig- und mittelradioaktiver Abfälle ausgelegter unterirdischer Lager, das mit Hinsicht auf die 250 m Tiefe praktisch ein geologisches Lager ist. Bei Lagern für radioaktive Abfälle in diesem Tiefenbereich ist die Wahrscheinlichkeit des unbeabsichtigten menschlichen Eindringens viel niedriger als bei den oberirdischen Lagern; internationale Empfehlungen schlagen vor, diese Tatsache als ein außer der Planungsgrundlage liegendes Ereignis zu betrachten. Im Falle von NRHT hat man in den Plänen aufgrund dieser Gesichtspunkte 50 Jahre für den Zeitraum der aktiven institutionellen Kontrolle in Betracht gezogen. Man plant dabei die Betreibung eines Monitoring-Systems mit reduziertem Ausmaß, das den Ausweis eventueller Anomalien zum ausschließlichen Ziel hat.

Die langfristige Aufbewahrung der Kenntnisse und Informationen bezüglich des Ortes und Charakteristiken der Anlage, sogar über den Zeithorizont der institutionellen Kontrolle hinaus, sollten gesichert werden. Man hat diese Anforderung bei der Planung der bezüglichen Informatiksysteme (z.B. Abfallregister) in Betracht gezogen. Nach dem Zeitraum der institutionellen Kontrolle ist es anzunehmen, dass die Kenntnisse hinsichtlich des Ortes und Charakteristiken der Anlage vergessen wurden.

### **6.2.5 Auswirkungen der neuen Blöcke auf die Lagerung niedrig- und mittelradioaktiver Abfälle**

Der im Zuge der Betreibung und Demontage der am Standort Paks errichtenden zwei neuen Atomkraftwerkblöcke entstehende niedrig- und mittelradioaktive Abfall hat eine wesentliche Auswirkung auf die Gestaltung des NRHT sowohl quantitativ als aus der Sicht des Zeitplanes.

Es kann für die Unterbringung der betrieblichen niedrig- und mittelradioaktiven Abfälle der neuen Atomkraftwerkblöcke ausreichend Lagerkapazität in den zur Verfügung stehenden verbleibenden Lagerkammern des Kammerfeldes I. des NRHT geschafft werden. Für die, aus der Demontage der vier Blöcke des Atomkraftwerkes in Paks stammenden niedrig- und mittelradioaktiven Abfälle ist dann aber bis zu 2060 die notwendige Lagerkapazität durch die Erweiterung des NRHT zu errichten. Für die Verwirklichung der Erweiterung können gegenwärtig mehrere Gelände auf dem, tektonisch als geeignet eingestuft, Raumteil in Betracht gezogen werden. Eine Forschungstätigkeit wurde für die Untermauerung der Wahl unter diesen geplant, das Kapitel 8.3.2 berichtet darüber.

Es soll in Betracht gezogen werden, dass die neuen Blöcke bis Mitte der 2080er Jahre im Betrieb bleiben, danach werden sie demontiert. Man hat aus der Demontage der aktiven Gebäudeteile und technologischen Systemen sogar bis zu 2100 mit der Lieferung von niedrig- und mittelradioaktiven Abfällen in das NRHT zu rechnen. Sollte die Zwischenlagerung der abgebrannten Brennstoffe der neuen Blöcke in Ungarn erfolgen, muss man sich auch auf die Unterbringung der im Zuge der Betreibung des Zwischenlagers entstehenden Abfälle, einen 40-jährigen Kühlbedarf der abgebrannten Brennstoffe vor der Endlagerung in Betracht ziehend, vorbereiten. Es folgt aus den Obigen, dass man sich wegen der Auswirkung der neuen Blöcke auf eine weitere Betreibung des NRHT für noch 20-40 Jahre vorbereiten muss.

### **6.3 Entsorgung hochaktiver und langlebiger Abfälle**

In Ungarn wurde noch keine endgültige Entscheidung über die Abschlussphase des Kernbrennstoffkreislaufs (siehe Kapitel 5.2) und hinsichtlich der Energiereaktoren gefallen. Außer der Zwischenlagerung von abgebrannten Brennelementen läuft die Standortwahl für ein geologisches Tiefenlager. Dieses Lager kann im Falle der Einführung bei jeder der Abschlussweisen des Brennstoffkreislaufes benötigt werden. Ungarn engagiert sich dafür, dass die hochradioaktiven langlebigen Abfälle auf dem Gebiet des Landes in einem stabilen geologischen Tiefenlager untergebracht werden. Laut dem einheitlichen internationalen Standpunkt ist ein solches Lager für die Direktlagerung abgebrannter Brennstoffe (die in diesem Fall als hochradioaktive Abfälle zu betrachten sind) als auch für den Empfang der im Zuge der Wiederaufbereitung der abgebrannten Brennstoffe entstandenen zweitrangigen hochradioaktiven Abfälle geeignet. Die Errichtung eines geologischen Tiefenlagers bietet eine endgültige Lösung für beide Fälle, unabhängig davon, welche Entscheidung über die Abschlussphase des Brennstoffkreislaufes gefallen wird.

#### **6.3.1 Vorgeschichte der Standortwahl, gegenwärtige Situation**

Man hat in Ungarn ein Forschungsprogramm im Rahmen des Nationalen Projektes Ende 1993 für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle, mit der Untersuchung der im westlichen Teil des Gebirges Mecsek sich befindenden Boda-Tonsteinformation (im Weiteren BAF), gestartet, nach dessen Beendigung im März 1995 wurde das als selbständiges Forschungsprogramm fortgesetzt. Im Mittelpunkt des kurzfristigen Programms (zwischen 1996-1998) standen die im, im BAF errichteten unterirdischen Labor (im Forschungsstollen, der aus dem Stollensystem der in der Region vertieften Uranmine herausgebildet wurde) durchgeführten Untersuchungen. Die ungarischen Fachleute waren in diesem Zeitraum der Forschung auch durch die Kollegen der kanadischen Energy of Canada Limited (AECL) unterstützt. Das unterirdische Labor, das früher über die Mine zugänglich war, wurde infolge der Schließung der Uranmine Ende 1998 aufgehört. Die zielorientierten Untersuchungen des kurzfristigen Forschungsprogramms haben bekräftigt, dass die geometrischen Größen, die

Isolationseigenschaften und die geotechnischen Charakteristiken des BAF im internationalen Vergleich angemessen, daher für die Weiterforschung unbedingt würdig sind.

Die im Jahre 1998 gegründete RHK Kft. hat die Vorstellungen über die Errichtung des Lagers neu überlegt und hat im Jahre 2000 eine, auf das ganze Territorium des Landes erstreckende Formations- Bewertungsforschung (Screening) durchführen lassen. Die Ausgangsdatenbank der Filterung beinhaltete alle registrierten ungarischen Formationen, die 300 bis 1000 m tief unter der Erdoberfläche über ein Vorkommen verfügen. Man hat die Messungen aufgrund einer kombinierten Zweiphasenfiltermethode durchgeführt. Im ersten Schritt (negative Filterphase) wurden durch die Anwendung sehr milder Kriterien die aus geometrischen fachlichen oder verfahrensrechtlichen Gesichtspunkten offensichtlich untauglichen Formationen aussortiert. Am Ende dieser Phase verblieben 20 Formationen, insgesamt auf 32 territorialen Einheiten. Im zweiten Schritt, in der Phase der detaillierten Bewertung wurden alle verbleibenden Formationen unter einheitlichen Kriterien bewertet.

Im Ergebnis der landesweiten Filterung wurden die detailliert bewerteten Formationen in drei Kategorien eingestuft: „für weitere Forschung vorgeschlagen“, „bei Bedarf erwägenswert“ und „nicht vorgeschlagen“. Man hat in die Kategorie „vorgeschlagen“ 6 Gesteinskörper auf 9 territorialen Einheiten eingestuft, unter denen hat sich das Vorkommen des BAF im West-Mecsek aufgrund bestimmter Kriterien, auch hinsichtlich des Zuverlässigkeitsgrades ausgezeichnet. Das Vorkommen des BAF in der Region Gorica kam auf Platz 5., ebenfalls in die Kategorie „vorgeschlagen“ eingestuft. Die Tonformation Kiscell gelang ebenfalls an die Spitze der Rangliste mit zwei Vorkommen sowie auch der Komplex in Baksa. Laut den Ergebnissen der Messungen hat sich also das BAF als das am vielversprechendsten empfangende Gestein für hochradioaktive Abfälle herausgewiesen.

Aufgrund der Obigen wurde ein Forschungsprogramm für die Ermittlung eines Standortes für die Unterbringung der hochaktiven und langlebigen radioaktiven Abfälle Ungarns und eines neuen unterirdischen Forschungslabors in dem Gebirge Mecsek durchgeführt. Die Geländeforschung begann im Jahre 2004 nach dem notwendigen Zulassungsprozess, wurde jedoch wegen Finanzierungsschwierigkeiten im Jahre 2006 unterbrochen.

Parallel zum Beginn der Forschungen wurde im Jahre 2004 der Konzeptplan für die Unterbringung der abgebrannten Brennstoffe aus dem Atomkraftwerk und dem Forschungsreaktor sowie sonstiger hochaktiven und/oder langlebigen radioaktiven Abfälle angefertigt. Der Plan hat eine vorläufige Konzeption für die Gestaltung der Abfallpakete, die Errichtung des Einkapselungswerkes und eine schematische Anordnung des Lagers samt anzuwendendem ingenieurmäßigen Damm gegeben. Dieser Plan diente der späteren Kostenschätzung.

Eine vereinfachte Sicherheitsbewertung wurde Anfang 2005 aufgrund der Informationsbasis der BAF-Forschungen, deren wichtigstes Ziel die vorläufige Beurteilung des Empfangsgesteins beziehungsweise der Tauglichkeit der Formation war, vor 2004 durchgeführt. Die vorläufige Bewertung hat bekräftigt, dass die Formationen des BAF wegen ihres hohen Volumens, ihrer Bindungsfähigkeit von Isotopen, niedrigen Porosität und niedrigen Wasserleitungsfähigkeit für den Empfang eines Abfalllagers als geeignet erscheinen.

Das, das langfristige Forschungsprogramm des BAF aktualisierende inhaltliche finanzielle und Terminierungskonzept wurde im Jahre 2008 fertiggestellt. Dieser Plan hat im Einklang mit der internationalen Praxis auf Phasen geteilte, aus drei unterirdischen und zwei oberirdischen Phasen bestehende tektonische Forschung vorgesehen. Wir benennen die zwischen 2004 und 2006 durchgeführten Geländetätigkeiten als die erste Strecke der I. oberirdischen Phase.

Die RHK Kft. hat im Jahre 2012 den Forschungsplan für die 2. Strecke der I. oberirdischen Phase zusammengestellt, die im Mai 2013 durch die zuständige Bergbaudirektion in Pécs zugelassen wurde. Die im Jahre 2014 neu gestartete Forschung war die Fortsetzung und Beendigung der im Jahre 2006 unterbrochenen 1. Phase. Das Ziel der Forschung war die allgemeine Standortbeurteilung des BAF, der Erwerb der für die Sicherheitsbewertung notwendigen tektonischen Daten und Informationen sowie die Senkung der Unsicherheiten. Man kann aufgrund der auf das Ende der Forschungsphase vorgesehenen integrierten Bewertung das Zielgebiet einengen und den detaillierten Plan der nächsten Forschungsphase zusammenstellen.

Die Abbildung 18 zeigt das sich auf 87 km<sup>2</sup> erstreckende Gebiet der im West-Mecsek laufenden tektonischen Forschung. Die grüne Linie in der Abbildung zeigt die Abgrenzung des Forschungsgebiets, die braune Linie das oberirdische Vorkommen, wo BAF in einer günstigen Lage (zwischen 500-900 m Tiefe) sich befindet.

Die Untersuchung der Tonsteinformation und deren unmittelbaren Umgebung, das Dokumentieren und Bemusterung der Formationen, Durchführung von Messungen vor Ort werden vor allem durch die Forschungsanlagen (Flach- und Tiefenbohrungen, Forschungsgruben) möglich gemacht. Darunter spielen die Tiefenbohrungen eine hervorragende Rolle, da man mit diesen Bohrungen zu unmittelbaren tektonischen Informationen auf Ebene des Lagers, in mehrere hundert Meter Tiefe gelangen kann. Man dokumentiert, bemustert den Bohrkern und führt Laboruntersuchungen an den Mustern durch. In den Bohrlöchern laufen vor Ort geophysische geotechnische und hydrogeologische Messungen.

Die „Durchleuchtung“ des Forschungsgeländes erfolgt durch oberirdische geophysische Methode mit reflexionsseismischen Segmenten. Diese Segmente machen die räumliche Ausdehnung der Bohrinformationen möglich.

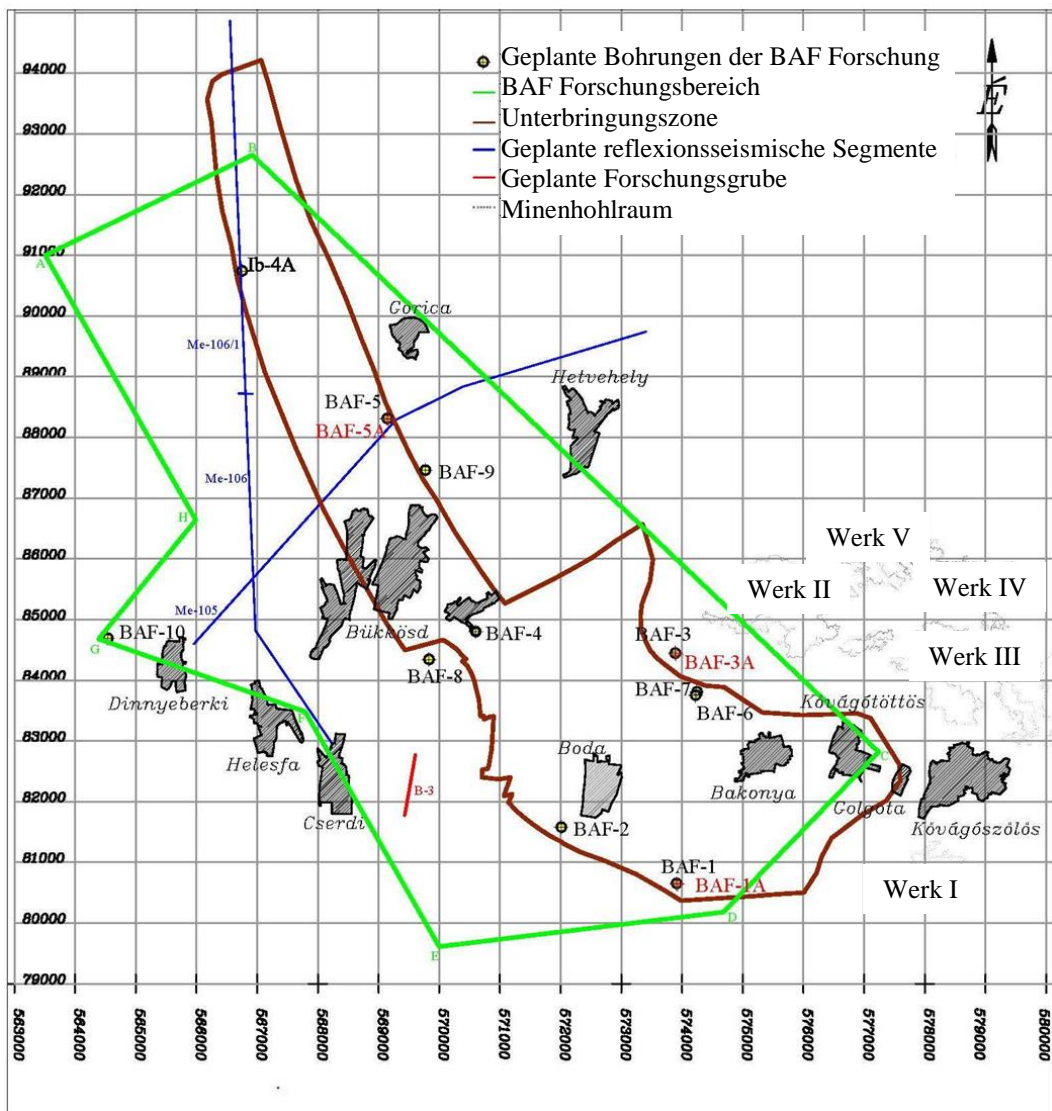


Abbildung 22: Forschungsgelände der 2. Strecke der oberirdischen Phase I. des BAF (im Koordinatensystem der EOJ (Einheitliche Ungarische Landesprojektion) dargestellt)

### 6.3.2 Zeitplan der Errichtung des geologischen Tiefenlagers

Laut der internationalen Praxis dauert die Errichtung eines, für den Empfang hochradioaktiver Abfälle beziehungsweise abgebrannter Brennstoffe geeignetes geologischen Tiefenlagers jahrzehntelang. Die am Ende der 1970er Jahren gestarteten und heute für fortgeschritten gehaltene Projekten haben das Ziel gesetzt bis 2025 die ersten geologischen Tiefenlager in Europa in Betrieb zu setzen. Das spiegelt auch die Vision der, für die Unterstützung der geologischen Unterbringung gegründeten Technologieplattform der EU (IGD-TP<sup>5</sup>) wieder.

<sup>5</sup> Implementing Geological Disposal Technology Platform

Es wurde im, das langfristige Programm aktualisierenden Konzept des BAF für den Zeitbedarf für die Errichtung der Lagerstätte, im Einklang mit den internationalen Erfahrungen, 51 Jahre angegeben. Den Ablaufplan der auf Phasen gegliederten tektonischen Forschung und der Errichtung der Lagerstätte stellt die Abbildung 19 dar.

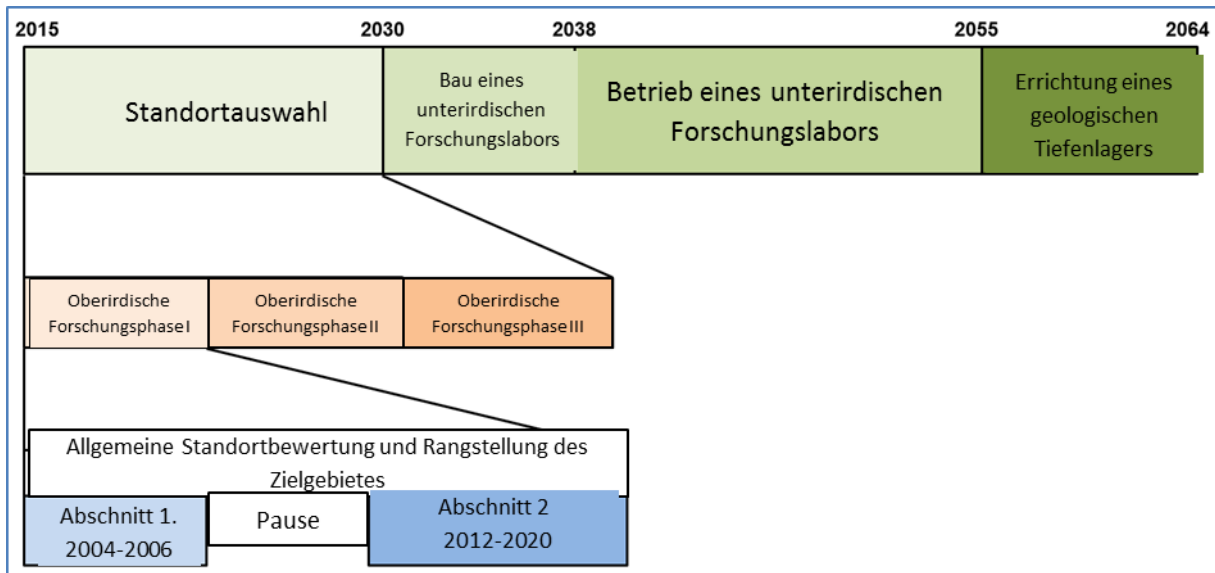


Abbildung 23: Ablaufplan der Errichtung des geologischen Tiefenlagers

Ziel der oberirdischen Forschung ist zu der Bestimmung des Standorts der Lagerstätte sowohl ober- als unterirdisch zu gelangen. Das Ziel der oberirdischen Forschungsphase Nr. I. besteht in der allgemeinen Standortbeurteilung und der Auswahl des Zielgebietes. Am Ende der Phase hat man innerhalb des gegenwärtig 87 km<sup>2</sup> großen Forschungsgeländes eine Rangfolge für die, aus der Sicht der Unterbringung geeigneten Geländeteile aufzustellen. Die II. Forschungsphase, am Ende deren der Standort des geologischen Tiefenlagers sowie das Gelände des dazu gehörenden oberirdischen Standortes bestimmt und bewertet werden, wird auf dem eingegrenzten Forschungsgelände fortgesetzt. Die III. Forschungsphase richtet sich auf die Vorbereitung des unterirdischen Forschungslabors.

In dem ungarischen Programm ist es noch nicht entschieden, ob das Forschungslabor Teil der späteren Lagerstätte sein wird oder nicht. Die diesbezügliche Entscheidung hat man mit Berücksichtigung der Ergebnisse der oberirdischen Forschungen und der vorläufigen Anordnung der Lagerstätte zu fällen. Unabhängig von der Richtung der Entscheidung ist die Errichtung des Labors ein bedeutender Meilenstein im Prozess der Verwirklichung der Lagerstätte. An diesem Punkt wird der, durch das Atomgesetz vorgeschriebene Antrag der vorläufigen theoretischen Zustimmung der Landesversammlung für den Beginn der Vorbereitungstätigkeiten der Errichtung nötig sein.



### **6.3.3 Die Auswirkung der neuen Blöcke auf die Errichtung des geologischen Tiefenlagers**

Die neuen Atomkraftwerkblöcke üben aus drei Aspekten maßgebende Auswirkung auf die Errichtung des geologischen Tiefenlagers aus. Man muss einerseits die sich erhöhende Menge der abgebrannten Brennstoffe sowie das größere Ausmaß der abgebrannten Kassetten bei der Planung der Lagerstätte in Betracht ziehen, wobei die Erweiterbarkeit ein wichtiger Gesichtspunkt sein muss. Andererseits werden die neuen Blöcke voraussichtlich bis Mitte der 2080er Jahren im Betrieb bleiben und die abgebrannten Brennstoffe oder die, aus der Reprozessierung stammenden hochradioaktive Abfälle noch jahrzehntelanger Kühlung bedürfen, deshalb kann die voraussichtliche Betriebszeit des Tiefenlagers nicht 20, sondern sogar 50-60 Jahre betragen. Der dritte Gesichtspunkt hängt mit den Möglichkeiten des Abschlusses des Kernbrennstoffkreislaufes zusammen. Wie das im Kapitel 5.2 vorgestellt wurde, kann zukünftig neben der gegenwärtig in Betracht gezogenen Unterbringung mit mehreren abweichenden Abschlussoptionen des Brennstoffkreislaufes gerechnet werden und die Wahrscheinlichkeit der letzteren wird dann erhöht, wenn eine Optimierung des Prozesses auf die sechs Blöcke vorgenommen wird.

Im Falle der auch die Wiederaufbereitung beinhaltenden Alternativen muss man auch die Umstände der Unterbringung der Abfälle der Reprozessierung bei der Forschung des Standortes und der Planung der Lagerstätte prüfen. Daraus ergibt sich die Anforderung, bei der Auswahl des Standortes des Tiefenlagers gegenüber den aus der Abschlussphase des Kernbrennstoffkreislaufes herauskommenden unterzubringenden Abfällen die größtmögliche Flexibilität gewährt werden muss. Das ermöglicht die Anwendung des Prinzips „Fahre sorgsam fort“. Die auf die Bilanzierung sich beziehenden Entscheidungspunkte werden im Kapitel 5.2.3 vorgestellt, das Fortfahren dagegen wird in der Fortsetzung der Auswahl des Standortes des geologischen Tiefenlagers (siehe Kapitel 6.3.2) gezeigt.

Vor den Entscheidungen hinsichtlich der Abschlussphase des Kernbrennstoffkreislaufes, im Rahmen der Anfertigung der vergleichenden wirtschaftlichen Analysen ist die Auswirkung der einzelnen Abschlussoptionen des Brennstoffkreislaufes auf die Kostenentwicklung der Errichtung des Tiefenlagers zu bestimmen.

## **7 Demontage der nuklearen Anlagen**

Gemäß den heimischen Rechtsvorschriften muss man einen vorläufigen Demontageplan für die nuklearen Anlagen anfertigen und diesen fünfjährlich überprüfen. Darin muss bescheinigt werden, dass die Anlage auf dem betreffenden Niveau der technischen Technologien sicher demontierbar ist. Die andere wichtige Aufgabe des Demontageplanes besteht darin, die zu erwartenden Kosten der Demontage der betreffenden Anlage und die Menge der aus der Demontage stammenden Abfälle zu bestimmen.

In den vorliegenden Kapiteln werden die sich auf die Demontage der heimischen nuklearen Anlagen beziehenden Pläne vorgestellt, die ein wichtiges strategisches Glied des Systems der inneren Zusammenhänge und Terminierung des Nationalen Programms bilden.

## **7.1 Demontage des Atomkraftwerkes in Paks**

### **7.1.1 Vorgeschichte**

Die Vorbereitungsarbeiten der Demontage des Atomkraftwerkes in Paks wurden im Jahre 1993 mit der Anfertigung einer Studie über die Demontage der Blöcke 1-2 begonnen. Der im Jahre 1997 angefertigte Vorläufige Demontageplan hat sich schon auf alle 4 Blöcke beziehungsweise die Demontage des KKÁT erstreckt. Diese Pläne wurden durch den Lizenzinhaber und die Paksi Atomerőmű Zrt. angefertigt. Die RHK Kft. hat im Jahre 1998 infolge der Veränderungen in den Rechtsvorschriften die Anleitung der Vorbereitungsarbeiten hinsichtlich der Demontage übernommen und sichert seitdem der Fonds die Finanzierung der Aktualisierung der Demontagepläne.

Am Anfang verfügte man über nicht ausreichende Erfahrungen und Informationen hinsichtlich der Demontage von nuklearen Anlagen, daher hat die RHK Kft. die Begutachtung der angefertigten Dokumente, wozu die Unterstützung der Experten der Internationalen Atomenergieagentur-Organisation (im Weiteren NAÜ) beantragt wurde. Die Überprüfung der Dokumente erfolgte in drei Themenbereichen:

- Erstellung der Datenbankstruktur der Demontage;
- Berechnungen der Aktivierung der Reaktorbehälter und der inneren Strukturelemente;
- Überprüfung des Demontageplanes.

Es wurde im Ergebnis der Überprüfungen Expertenbegutachtungen seitens der NAÜ angefertigt, deren Vorschläge im Laufe der weiteren Vorbereitungsarbeiten in Betracht gezogen wurden.

Die zwischen 1993-2012 durch die Paksi Atomerőmű Zrt. und die RHK Kft. angefertigten vorläufigen Demontagepläne haben noch 6 unterschiedlichen Optionen geprüft. Da diese in vielen Fällen sowohl bezüglich der Kosten als auch des Abfallvolumens sehr ähnlich zueinander waren, wurde eine Entscheidung über die Senkung der Anzahl der Optionen gefallen. Im Ergebnis deren hat die spätere Analyse nur noch die folgenden international akzeptierte und angewandte zwei Optionen geprüft:

- sofortige Demontage;
- verschobene Demontage mit der geschützten Bewahrung des Primärkreises für 20 Jahre.

Die komplexe Bewertung der oben genannten zwei Demontageoptionen wurde zum ersten Mal im Laufe der Anfertigung des Dokuments unter dem Titel „Fundierung zum neuen Programm der Entsorgung und Lagerung der heimischen radioaktiven Abfälle und abgebrannten Brennstoffe“ durchgeführt.

Bei der Bestimmung der Demontageskosten der Anlage wurde das durch drei internationale Organisationen (OECD Agentur für Nuklearenergie, Internationale Atomenergieagentur-

Organisation, Europäisches Komitee) ausgearbeitetes System des Kostencodes für die Berechnung der Demontagekosten der nuklearen Anlagen zu Grunde genommen.

Als Teil der zwischen 2012-2014 durchgeführten Überprüfung wurde im Jahre 2012 die radiologische Zustandsaufnahme der Gebäudestrukturen und der technologischen Systeme des Atomkraftwerkes angefertigt und die Überprüfung der Berechnungen der Aktivierung des biologischen Schutzes des Reaktors sowie die Aktualisierung bestimmter Kapitel des Demontageplanes wurden durchgeführt.

Die präferierte Option der Demontage des Atomkraftwerkes in Paks richtet die geschützte Bewahrung des Primärkreises für 20 Jahren und eine danach erfolgende Demontage vor. Das zu erreichendes Endziel der Demontagetätigkeiten ist die Nutzbarmachung des Standortes unter Aufrechterhaltung bestimmter Beschränkungen.

Die auf dem Standort in Paks errichtenden neuen Atomkraftwerkblöcke werden voraussichtlich bis zu Mitte der 2080er Jahre im Betrieb bleiben. Es ist zweckmäßig die Demontagesstrategie der auf einem Standort sich befindenden 6 Blöcke später abzustimmen, die im Falle der vier Blöcke zu einer geringfügigen Erhöhung des geschützt bewahrten Zeitraumes führen kann.

### **7.1.2 Zeitplanung des Stilllegungsprozesses**

Der Zeitraum zwischen der Abschaltung der Blöcke und dem Abschluss der Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Stilllegung kann grundsätzlich in vier Phasen geteilt werden. Die Zeitplanung der einzelnen Phasen ist in der Tabelle 18 zu finden.

Phase I – auch als Übergangsphase genannt – beginnt ab dem Zeitpunkt der Abschaltung von Block 1 und dauert bis zum Abtransportieren der letzten abgebrannten Brennstoffkassette in KKÁT [*Zwischenlager für abgebrannte Brennstoffkassetten*]. Unter Berücksichtigung der Zeitintervalle zwischen dem Anfahren der Blöcke und vorausgesetzt, dass diese in der Reihenfolge des Anfahrens abgeschaltet werden, dauert diese Phase ca. 10 Jahre.

Bis zum Ende der Übergangszeit sollte man bereits über eine gültige Lizenz zur Stilllegung verfügen und zu diesem Zeitpunkt erfolgt auch die Abnahme der Befugnis des Lizenzinhabers zwischen der Paksi Atomerőmű Zrt. und der RHK Kft.

Der Übergangszeit wird von Phase I der Stilllegung gefolgt, die in der bevorzugten Option zur Stilllegung die geschützte Erhaltung der gesamten kontrollierten Zone für 20 Jahre und die Demontage/den Rückbau der freien Zone umfasst.

In der Phase II erfolgen die Stilllegung und der Rückbau der abgenutzten, bzw. kontaminierten technologischen Elemente und Baukonstruktionen. Der geplante Zeitraum der Phase II ist 8 Jahre.

Phase III umfasst den Rückbau der bereits inaktiven Gebäude, die Zerlegung der Reaktoranlagen, die Abfallbehandlung sowie die Sanierung der Gegend und die endgültige Strahlenschutzmessung. Der geplante Zeitraum der Phase III ist 11 Jahre.

Tabelle 18: Zeitplan für die Option Sicherer Einschluss des Atomkraftwerks von Paks

Abschnitte – Aufgaben	Beginn	Ende
Übergangszeit	01.01.2032	31.12.2041
Phase I der Stilllegung – Geschützte Erhaltung, Rückbau der freien Zone	02.01.2042	30.12.2061
Phase II der Stilllegung – Demontage und Rückbau der abgenutzten, bzw. kontaminierten Elemente	02.01.2062	31.12.2069
Phase III der Stilllegung – Rückbau der inaktiven Elemente	01.01.2070	31.12.2080

### 7.1.2.1 Übergangszeit

Der Lizenzinhaber für die Anlage in der Übergangszeit ist die MVM Paksi Atomerőmű Zrt., deren wichtigste Aufgabe ist, die nukleare Sicherheit aufrechtzuerhalten und die abgebrannten Brennstoffkassetten nach der Abkühlung in den KKÁT zu transportieren.

Zu diesem Zeitpunkt erfolgen die Betriebsbeendigung der Anlage und die Vorbereitung für die geschützte Erhaltung. In diesem Rahmen werden Dekontaminierungsarbeiten durchgeführt, um die Dosisrate zu reduzieren. Das umfasst unter anderem eine Dekontamination der autonomen Gegend, die Entleerung der Systeme, die Entfernung der Betriebsmedien, die Reinigung der Wand- und Bodenbeläge der Räumlichkeiten.

Weitere wichtige Aufgaben des Lizenzinhabers in der Übergangszeit:

- Bedienungsanleitung überprüfen;
- Plan zum Personalabbau erstellen;
- Betriebsabfall verarbeiten;
- die gelagerten Kassetten in den KKÁT transportieren;
- bei Abnahme der Befugnis des Lizenzinhabers mitwirken.

Zusätzlich zu den oben genannten Aufgaben sollen die Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Verarbeitung der radioaktiven Abfälle abgeschlossen und die Abfälle von diesem Typ müssen ins NRHT [*Nationales Endlager für radioaktive Abfälle*] transportiert werden.

Ein wesentliches Element der in der Übergangszeit durchzuführenden Tätigkeiten ist die für die Vorplanung erforderliche radiologische Analyse.

Zusätzlich zu der radiologischen Analyse, die zur Planung der Stilllegungsarbeiten notwendig sind, müssen in der Übergangszeit die Gefahrstoffe (brennbare, explosive, giftige Substanzen, Asbest) ermittelt werden.

Aufgrund der Regierungsverordnung 314/2005. (XII. 25.) über die Umweltverträglichkeitsprüfung und das Genehmigungsverfahren zur einheitlichen Umweltnutzung ist eine Genehmigung der Umweltschutzbehörde zur Durchführung der Stilllegungsarbeiten erforderlich. Nach dem vorherigen Prüfverfahren, noch vor der

Erstellung der endgültigen Fassung des Plans zur Stilllegung soll eine Umweltverträglichkeitsprüfung durchgeführt werden.

Die Abnahme der Befugnis des Lizenzinhabers zwischen der MVM Paksi Atomerőmű Zrt. und der RHK Kft. findet in zwei Stufen (Blöcke 1 und 2, dann Blöcke 3 und 4) statt. Parallel zu den Genehmigungsverfahren beginnt die Errichtung der für die Stilllegung verantwortlichen Organisation für das Projektmanagement innerhalb der RHK Kft. Die Projektmanagement-Organisation ist verantwortlich für die komplette Verwaltung des Stilllegungsprozesses. Zu ihren wichtigsten Aufgaben gehören die Einholung von Genehmigungen, die Auswahl der Zulieferer, Tätigkeiten in Bezug auf Vertragsabschluss, die Ausführung von Investitions- und Vertriebsaufgaben sowie Schulung. Die Aufgaben der Organisation enden nach Abschluss der Tätigkeiten bezüglich Stilllegung.

### **7.1.2.2 Phase I**

Phase I umfasst grundsätzlich die geschützte Erhaltung des Primärkreislaufes; in dieser Phase erfolgt die Errichtung der Einrichtungen und Infrastruktur zur Demontage und zum Rückbau der inaktiven Teile, dann ab Mitte der Phase beginnt die Demontage, bzw. der Rückbau der freien Zone. Hinsichtlich der Demontage und des Rückbaus der inaktiven Teile sind die Gebäude im Hof und ein Teil der Turbinenhalle betroffen.

Die Gebäude im Hof haben keine weitere Aufgabe im Stilllegungsprozess, daher werden diese vollständig demontiert und rückgebaut, im Gegensatz zur Turbinenhalle, aus der – nach der Durchführung der notwendigen Umgestaltung – der Arbeitsbereich für die Behandlung der radioaktiven Abfälle (Entsorgungsanlage für aktive Abfälle) errichtet wird. Um die Arbeiten in dieser Phase durchzuführen, ist die Errichtung einer provisorischen Entsorgungsanlage für inaktive Abfälle (Recyclinghof) notwendig. Diese Anlage verarbeitet die inaktiven Baumaterialien aus dem Rückbau und hier erfolgt die Zwischenlagerung der inaktiven Abfälle aus der technologischen Stilllegung.

Weitere notwendige Einrichtung für die Durchführung der Stilllegungsarbeiten der Phase II ist das Lagergebäude für Großanlagen, das ebenfalls in dieser Phase errichtet wird.

### **7.1.2.3 Phase II**

Zu Beginn der Phase II werden die technologischen Systeme des Primärkreislaufes demontiert. Das ist eine komplexe Tätigkeit, die einerseits die Demontage und Zerlegung der technologischen Systeme (Maschinenbau, Elektrotechnik und Steuerungstechnik) vor Ort, andererseits die Extraktion der in Rohrbrunnen gelagerten hochaktiven Abfälle sowie die Wiederaufarbeitung der aus diesen gewonnenen Abfällen umfasst.

Zu Beginn dieser Phase erfolgt die Entfernung der Reaktoranlagen wie folgt:

- 1) Die aktivsten Teile der Reaktoranlage sind die sogenannten Reaktorkörbe, die zur Fixierung der Heizelemente während des Betriebs verwendet werden. Nach Berechnungen werden die Reaktorkörbe auch nach einer Lagerung von mehreren Jahrzehnten als

hochaktive Abfälle gelten, deshalb werden diese in einzelne Behälter gelegt und nach einer Lagerung von einigen Jahrzehnten vor Ort in ein geologisches Tiefenlager zur Endlagerung gebracht.

- 2) Die anderen inneren Strukturelemente der Reaktoranlage werden in die Behälter zurückgelegt. An den Teilen der Behälter um die aktive Zone werden biologische Schutzringe angebracht, und nach der Anbringung der neuen Schließdeckel, dem Zuschweißen der abgeschnittenen Stümpfe und Anstreichen von außen werden diese in einem neuen Gebäude (Lagergebäude für Großanlagen) am Standort bis zur endgültigen Zerlegung gelagert.
- 3) Die anderen großen Anlagen, einschließlich der Dampferzeuger werden mit Endlos-Bandsägen in der Nähe ihrer Einbaustelle zerlegt.

Zur Abfallentsorgung gehört die radiologische Einstufung der Substanzen in der kontrollierten Zone, ihre Klassifizierung nach Verschmutzung. Das Ziel der Einstufung ist die Bestimmung des optimalen Verfahrens zur Dekontamination in Bezug auf die einzelnen Systemelemente. Im Anschluss an die Durchführung der erforderlichen Verfahren zur Dekontamination erfolgt die Konditionierung der Abfälle, dann ihre radiologische Einstufung. Die Abfallbehandlungsarbeiten – einschließlich der Zwischenlagerung der radioaktiven Abfallgebände – werden am in der Turbinenhalle errichteten Arbeitsplatz (Entsorgungsanlage für aktive Abfälle) stattfinden.

Nach der Entfernung der technologischen Systeme beginnt die Entfernung der kontaminierten Gebäudestrukturen (aktiv gewordene Betonkonstruktionen um den Reaktorbehälter, vom Fließen des Mediums im Primärkreislauf betroffene Gebäudestrukturen und Strukturelemente der Rohrbrunnen), dann die Dekontaminierung der Gebäudestrukturen und der Raumflächen.

Am Ende der Phase II richten sich die Stilllegungsmaßnahmen auf die Erreichung des inaktiven Zustandes für die Gebäude des Atomkraftwerks Paks, der durch die endgültige radiologische Analyse bestätigt wird.

Die am Ende der Phase II durchzuführende endgültige radiologische Analyse umfasst nicht das Lagergebäude für Großanlagen, das die Reaktorbehälter enthält.

#### **7.1.2.4 Phase III**

In der Phase III erfolgt die Durchführung der Rückbauarbeiten der – auch die kontrollierte Zone umfassende – bereits vollständig gereinigten Gebäude. In dieser Phase werden die Haupt- und Nebengebäude, das Gesundheitsgebäude sowie die öffentlichen Versorgungseinrichtungen am Standort demontiert, bzw. abgebaut. In dieser Phase erfolgt auch die Zerlegung der Reaktoranlagen (in den Jahren 2077-2078).

In den letzten zwei Jahren der Phase III wird die Sanierung des Standortes, der Rückbau des Lagergebäudes für Großanlagen und die endgültige radiologische Analyse des Standortes durchgeführt.

## 7.2 Stilllegung von KKÁT

Der KKÁT wurde für die Zwischenlagerung der während des Betriebs des Atomkraftwerks von Paks entstehenden abgebrannten Brennelemente in der Nachbarschaft des Kraftwerks errichtet; die geplante Betriebszeit ist 50 Jahre. Die Inbetriebnahme des zentralen Empfangsgebäudes und der dazu gehörigen Technologie samt den ersten drei Kammern fand im Jahre 1997 statt, die Betriebsgenehmigung wurde im Jahre 1998 von der zuständigen Behörde erteilt. Die geplante Betriebszeit der Anlage soll – der Verlängerung der Betriebszeit des Atomkraftwerks Paks und dem Datum der geplanten Inbetriebnahme des geologischen Tiefenlagers angepasst – um 25 Jahre bis zum Jahr 2072 verlängert werden, dessen Voraussetzung die Durchführung des behördlichen Genehmigungsverfahrens ist.-

Für die Stilllegung des Atomkraftwerks Paks und des KKÁT gab es – bis zur Trennung der Organisation im Jahre 2000, die die zwei Einrichtungen betrieben hat – nur einen regelmäßig überprüften Plan zur Stilllegung, der beide Einrichtungen umfasste. Nach der Trennung im Jahre 2010 wurde der erste völlig unabhängige Stilllegungsplan von KKÁT erstellt.

Der oben erwähnte Stilllegungsplan von KKÁT berücksichtigt nur einen sogenannten sofortigen Rückbau, der sich hinsichtlich der Kostenwirksamkeit eng an die Stilllegung des Atomkraftwerks Paks anpasst.

Der als Ergebnis der Stilllegung des KKÁT zu erzielende endgültige Zustand ist – ähnlich wie bei der Stilllegung des Atomkraftwerks Paks – den Standort bei bestimmten Einschränkungen verwendbar zu machen.

### 7.2.1 Zeitplanung des Stilllegungsprozesses

Die Stilllegungstätigkeit – im Besitz der Genehmigung zur Stilllegung – beginnt nach der Entfernung aller abgebrannten Brennelemente im Jahre 2073 und wird voraussichtlich im Jahre 2077 abgeschlossen sein. Die Stilllegung kann zweckmäßig in drei Phasen unterteilt werden, die in der Tabelle 19 veranschaulicht sind.

*Tabelle 19: Die Abschnitte der Option Sofortiger Rückbau von KKÁT*

<b>Abschnitte</b>	<b>Tätigkeiten</b>	<b>Beginn</b>	<b>Ende</b>
<b>Phase I</b>	Schaffung der technischen und administrativen Voraussetzungen für die Stilllegung	01.01.2073	26.04.2073
<b>Phase II</b>	Demontage/Rückbau der kontaminierten Systeme und Gebäudestrukturen	26.04.2073	29.06.2074
<b>Phase III</b>	Rückbau der inaktiven Gebäude, Landschaftsgestaltung und Durchführung der endgültigen radiologischen Analyse	29.06.2074	26.05.2077

In der Phase I werden die für die Demontage der kontaminierten Systeme und Systemkomponenten, bzw. für den Rückbau der Gebäudestrukturen (Entfernung der kontaminierten Oberflächenbeschichtungen) erforderlichen technischen und administrativen Voraussetzungen geschaffen. Als Ergebnis des Prozesses wird – bei physischem Schutz des Standorts – die für die Durchführung der Stilllegung erforderliche Infrastruktur gebaut und für die Verfügbarkeit des Personals und der Werkzeuge gesorgt.

Während der Phase II erfolgt die Demontage der radioaktiv kontaminierten sowie inaktiven Systeme, Systemelemente und der Rückbau der kontaminierten Gebäudestrukturen, zu dem die Bedingungen für die Durchführung gewährleistet sollten. Die verschiedenen Tätigkeiten dürfen bei Einhaltung der Vorschriften der von der Behörde für nukleare Sicherheit erteilten sogenannten Stilllegungsgenehmigung durchgeführt werden. Bis zum Ende der Phase II werden im KKÁT und am Standort die Systeme und Systemelemente demontiert, die kontaminierten Oberflächenbeschichtungen entfernt und die radioaktive Kontamination vollständig beseitigt. Dazu müssen die für die Durchführung erforderlichen technischen und administrativen Bedingungen und der physische Schutz des Standortes gewährleistet werden.

In der Phase III erfolgen der Rückbau der Gebäude und Gebäudestrukturen, die Landschaftsgestaltung und die Vorbereitung des Standortes für weitere Verwendung, dabei werden das Personal und die Werkzeuge abgezogen, der physische Schutz aufgelöst und das behördliche Genehmigungsverfahren für die Auflösung der behördlichen Aufsicht durchgeführt.

Die Berechnungen des vorläufigen Stilllegungsplans zeigen, dass bei der Stilllegung des KKÁT ca. 500 Fässer von 200 Liter (d.h. ca. 100 m<sup>3</sup>) von schwach- und mittelaktiven Abfällen entstehen werden, voraussichtlich werden sich jedoch keine hochaktiven Abfälle bilden.

### **7.3 Stilllegung der neuen Blöcke**

Eine wichtige Anforderung bei der Planung der neuen Atomkraftwerksblöcke ist – auch unter Berücksichtigung der einschlägigen internationalen Empfehlungen – dass bei der Aufgabe des Atomkraftwerks möglichst wenig radioaktive Abfälle entstehen. Diesem Zweck dient die Vorschrift der ungarischen Regelung, nach der das Vorhandensein eines vorläufigen Stilllegungsplans eine Voraussetzung für den Erwerb der Betriebsbewilligung ist, der bis zum Ende der Betriebszeit regelmäßig (alle 5 Jahre) überprüft werden soll.

In Übereinstimmung mit der internationalen Praxis wird für die Stilllegung der Blöcke 5 und 6 die Option sofortiger Rückbau berücksichtigt. Die geplanten Phasen der Stilllegung:

- Abschaltung der Blöcke des Atomkraftwerks (6 Monate),
- Vorbereitung für die Stilllegung (5 Jahre),
- Demontage der Anlagen und Rekultivierung des Gebiets (10 Jahre).

Die geschätzte Menge der bei der Stilllegung entstehenden Abfälle ist im Kapitel 3.2.6 dargelegt.



## 7.4 Stilllegung des Forschungsreaktors in Budapest

Für die Erstellung des nationalen Programms wurde das Jahr 2023 als Referenzdatum für die Stilllegung des Forschungsreaktors in Budapest festgelegt, das genaue Datum der Abschaltung wird jedoch von der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, bzw. der jeweiligen Regierung, unter Berücksichtigung der finanziellen Möglichkeiten bestimmt.

Die Betriebsphase ist die Phase für die Vorbereitung und Planung der Stilllegung. Das wird von dem Betreiber, der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Zentrum für Energieforschung (im Folgenden: MTA EK) durchgeführt. Ab dem Jahr 2005 wurde – bei einer Überprüfung alle 5 Jahre (Aktualisierung) – ein vorläufiger Stilllegungsplan erstellt, der im Band 6 des Endgültigen Sicherheitsberichtes des Forschungsreaktors von Budapest enthalten ist. Der endgültige Stilllegungsplan soll 1 Jahr vor der endgültigen Abschaltung des Reaktors erstellt und an die nukleare Aufsichtsbehörde zur Genehmigung eingereicht werden. Ein Kapitel des endgültigen Stilllegungsplans, die detaillierte radiologische Analyse des Standortes kann nur nach der Stilllegung und dem Abtransport der abgebrannten Brennelemente durchgeführt werden. Der Stilllegungsplan wird mit diesem Kapitel in der Übergangszeit ergänzt.

Gemäß dem vorläufigen Stilllegungsplan folgt nach der Abschaltung eine Übergangszeit von zwei Jahren, dann eine Phase von eineinhalb Jahren für den Rückbau und die Demontage; am Ende dieser Phase wird das Gelände mit den vorhandenen Gebäuden – hinsichtlich des Strahlenschutzes in sauberem Zustand – dem Eigentümer, der Ungarischen Akademie der Wissenschaften zurückgegeben. Es ist wichtig zu erwähnen, dass, wenn der Lehrreaktor und der Forschungsreaktor in Budapest in den Jahren 2027, bzw. 2023 abgeschaltet werden, die Übergangszeit bis zu den Jahren 2028-2029 – aus Gründen, die im Kapitel 5.3 detailliert dargestellt sind – verlängert werden soll. Die Stilllegung sollte nach dem – im Folgenden dargestellten – Zeitplan durchgeführt werden.

In der Übergangszeit von 2 Jahren bleibt MTA EK weiterhin der Betreiber des Standortes. Die wichtigsten Aufgaben im Zusammenhang mit der Stilllegung in dieser Phase:

- Abtransport sämtlicher (aktiven, inaktiven und gefährlichen) Betriebsabfälle vom Standort,
- Abtransport sämtlicher (frischen und abgebrannten) Brennelemente vom Standort nach Russland,
- radiologische Analyse des Standortes,
- Dekontamination,
- Errichtung einer provisorischen Werkstatt zur Zerlegung in der Reaktorhalle,
- Errichtung von Lagerräumen und Pavillons in der Reaktorhalle für die Lagerung, Verpackung und Kontrolle von radioaktiven Abfällen,
- Schulungsprogramm für Mitarbeiter des Standortes und externe Auftragnehmer,
- Erhaltung des Zustandes, Instandhaltung.

Am Ende der Übergangszeit wird der Standort an die RHK Kft. übergeben, die im Gesetz über die Atomenergie als Verantwortliche für die Stilllegung bestellt wurde.

In der Phase der Demontage, der Stilllegung – die unmittelbar nach der Übergangszeit beginnt und etwa eineinhalb Jahre dauert – werden alle technologischen Systeme des Reaktors und die dazu gehörigen Versuchsanlagen, Abfallbehälter, Systeme zum Strahlenschutz und physischen Schutz sowie der Schwerbeton zum biologischen Strahlenschutz des Reaktorbehälters demontiert. Die Gebäude und der Lüftungskamin werden nicht demontiert.

Bei der Stilllegung des Forschungsreaktors Budapest werden ungefähr  $670 \text{ m}^3$  inaktive,  $10 \text{ m}^3$  inaktiv gefährliche,  $260 \text{ m}^3$  schwach- und mittelaktive feste radioaktive sowie  $180 \text{ m}^3$  flüssige radioaktive Abfälle entstehen. Nach der Komprimierung und Zementierung müssen  $260 \text{ m}^3$  schwach- und mittelaktive radioaktive Abfälle,  $10 \text{ m}^3$  gefährliche inaktive Abfälle und  $270 \text{ m}^3$  kommunale Abfälle vom Standort abtransportiert werden. Die inaktiven Abfälle werden in dem kommunalen Abfalllager, die gefährlichen Abfälle in einem Abfalllager für gefährliche Abfälle, die radioaktiven Abfälle am Standort der RHK Kft. in Püspökszilágy abgelagert. Bei der Stilllegung des Forschungsreaktors Budapest werden voraussichtlich keine hochaktiven Abfälle entstehen.

## 7.5 Stilllegung des Lehrreaktors

Bei der Planung der Stilllegung des Lehrreaktors sollen mehrere spezielle Aspekte in Betracht gezogen werden, aus denen der wichtigste Aspekt ist, dass der Reaktor sich im Innenbezirk von Budapest, auf dem Gebiet der Technischen Universität von Budapest (BME) befindet. Das bedeutet, dass bei der Zeitplanung der Stilllegungstätigkeiten der Normalbetrieb der Umgebung des Standortes, das heißt die Betriebsordnung des Campus, bzw. die tägliche Bildungstätigkeit der BME berücksichtigt werden sollen, in einer Weise, dass diese von der Stilllegung nicht beeinflusst werden.

Weiterer spezieller Umstand ist die Begrenztheit der Transportwege, deren Tragfähigkeit die obere Grenze der transportierbaren Größe ist. Nach den Plänen ist es nicht notwendig, das Gebäude vollständig abzubauen, da es in diesem Gebäude neben dem Reaktor auch andere, mit dem Reaktor nicht eng verbundenen Labors (Isotopenlabor von Stufe „B“, Röntgenlabor, usw.) gibt, die auch nach dem Rückbau der Zone und der verbundenen Strukturelemente arbeiten können.

Voraussetzung für den Beginn der Demontage ist, dass im Gebäude des Reaktors keine Brennelemente sind. Die Technologien für die Stilllegung und die erforderliche Konditionierung sind auf internationaler Ebene ausgearbeitet.

Die Stilllegungstätigkeit würde nach der Übergangszeit voraussichtlich drei Jahre nach der endgültigen Abschaltung beginnen. Das umfasst den Rückbau des biologischen Schutzblocks des Reaktors, die Entfernung der mit dem Reaktor verbundenen Bedienung- und Sicherheitsvorrichtungen sowie von sonstigen Einrichtungen für verschiedene Versuche in der Reaktorphysik, die sich im Reaktor befinden.

Nach den vorläufigen Plänen muss die Gebäudekonstruktion bei der Demontage des Lehrreaktors nicht abgebaut werden, nur die Änderungen müssen durchgeführt werden, die wegen der Entfernung des biologischen Schutzblocks, der den Strahlenschutz gewährleistet, notwendig sind. So bleibt das Gebäude in einem später verwendbaren Zustand. Dementsprechend würden das aktive Wasseraufbereitungssystem und das Strahlenüberwachung- und Warnsystem sowie das physische Schutzsystem erhalten bleiben. Die bei der Stilllegung entstehenden schwach- und mittelaktive Abfälle – mit einem geschätzten Volumen von 50 m<sup>3</sup> – werden von dem Lizenzinhaber der Stilllegung, der RHK Kft. zum Standort des RHFT in Püspökszilágy transportiert, klassifiziert, konditioniert und gelagert. Bei der Stilllegung des Lehrreaktors werden voraussichtlich keine hochaktiven Abfälle entstehen.

## **8 Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten im Zusammenhang mit der Umsetzung des nationalen Programms**

Die Tätigkeiten im Zusammenhang mit den Programmen für die Entsorgung der in Ungarn entstehenden radioaktiven Abfälle und abgebrannten Brennelemente sowie für die Stilllegung von Nuklearanlagen haben unterschiedliche Fortschritte erreicht, aber für alle gilt, dass für die erfolgreiche Umsetzung Forschungs- und Entwicklungsprojekten durchgeführt werden sollen. Die wichtigsten dieser Forschungs- und Entwicklungsbedarfe sind in den folgenden Abschnitten – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – zusammengefasst.

In Ungarn wurde die Technologieplattform für nachhaltige Atomenergie im Jahre 2010 ins Leben gerufen, die das Zukunftsbild der nationalen nuklearen Forschung und Entwicklung, den strategischen Forschungsplan und den Umsetzungsplan ausgearbeitet hat. Einige der in diesen Dokumenten zusammengefassten Forschungs- und Entwicklungsaufgaben beziehen sich auf den im Kapitel 8.1 dargelegten Bereich, auf die Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente, andere auf die im Kapitel 8.2 beschriebene Schlussphase des Kernbrennstoffkreislaufes. Die Durchführung der in den genannten Plänen detaillierten Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten ist wichtig sowohl für die Umsetzung der Programme für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle und abgebrannten Brennelemente als auch für die Aufrechterhaltung der nationalen nuklearen Kompetenzen.

### **8.1 Forschungs- und Entwicklungsaufgaben im Zusammenhang mit der Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente**

Im Bereich der Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente können die wichtigsten Forschungs- und Entwicklungsaufgaben als gelöst betrachtet werden; die Notwendigkeit der Verlängerung der Betriebszeit des KKÁT, die Begründung der Lagerfähigkeit der nicht

hermetischen Kassetten sowie die Zwischenlagerung der in den neuen Blöcken entstehenden abgebrannten Brennelemente bedeuten jedoch weitere Aufgaben.

#### *Verlängerung der Betriebszeit des Zwischenlagers für die abgebrannten Brennelemente*

Wegen der geplanten Betriebszeitverlängerung des Atomkraftwerks und des geänderten Zeitplans in Bezug auf die Entsorgung der abgebrannten Brennelemente muss man sich für die Verlängerung der Betriebszeit des KKÁT vorbereiten. In diesem Rahmen sollen die hinsichtlich der Verlängerung der Betriebszeit der Lagerungsanlage relevanten Parameter und Systeme definiert werden. Ferner soll die Zulässigkeit der Lagerungsdauer über 50 Jahre auch im Hinblick auf die Integrität der abgebrannten Brennstoffkassetten geprüft werden. Dementsprechend soll der Umfang der für den weiteren Betrieb erforderlichen Prüfungen – in Bezug auf die Anlage und die abgebrannten Brennelemente – identifiziert werden. Die definierten Prüfungen sollen rechtzeitig durchgeführt werden.

#### *Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente der neuen Atomkraftwerksblöcke*

Im Zusammenhang mit der Installation der neuen Blöcke könnte die Errichtung eines von dem derzeitigen Zwischenlager der abgebrannten Brennelemente unabhängigen Zwischenlagers notwendig sein. Es gibt viele technisch ausgereifte Alternativen für die Trockenlagerung der Kassetten aus dem Lagerbecken, wie z.B. Lagerung in Container, Silos oder Kammern. Es muss geprüft werden, dass die abgebrannten Brennelemente der neuen Reaktoren – unter Berücksichtigung der Sicherheit und von wirtschaftlichen Erwägungen – in welchem Lagerungssystem am besten gelagert werden können.

#### *Vorbereitung der Lagerungsfähigkeit der nicht hermetischen Kassetten im KKÁT*

Das sogenannte Sipping-Verfahren zum Nachweis des nicht hermetischen Zustandes der Brennelemente wurde in der letzten Zeit im Atomkraftwerk Paks weiterentwickelt, so wurde die Nachweisbarkeit besser. Die bisherigen Analysen in Bezug auf die Lagerfähigkeit der nicht hermetischen Kassetten im KKÁT beruhten auf zahlreichen konservativen Vermutungen. Für die Vorbereitung der in der Zukunft fälligen Genehmigungsverfahren sollen die notwendigen Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten durchgeführt werden, durch die die Quellstärke der nicht hermetischen Kassetten präzisiert werden kann, bzw. die in den Vermeidungsmechanismen bisher mit konservativen Vermutungen behandelten Unsicherheiten reduziert werden können.

## **8.2 Forschungs- und Entwicklungsaufgaben im Zusammenhang mit der letzten Phase des Kernbrennstoffkreislaufes**

Wie in den vorangegangenen Kapiteln dargelegt, bieten sich mehrere strategische Möglichkeiten in Bezug auf die Schlussphase des Kernbrennstoffkreislaufes. Der Abschluss des Brennstoffkreislaufes ist eine der größten Herausforderungen der Atomindustrie, dessen Lösung eine intensive Forschungs- und Entwicklungstätigkeit erfordert. Auch Ungarn versucht an diesen Arbeiten teilzunehmen, unter anderem in den folgenden Bereichen.

### *Möglichkeiten der Nutzung der abgebrannten Brennelemente mit derzeit vorhandenen Technologien und Reaktoren der Generation 4*

Im Rahmen dieser Aufgabe soll ein numerisches Modell errichtet werden, das die Langzeitsimulation des Brennstoffkreislaufs ermöglicht. Dazu sollen die Prozesse beschrieben werden, die bei der Herstellung, dem Ausbrennen in den Atomreaktoren, während der Zwischenlagerung, Wiederaufbereitung und Endlagerung des Brennstoffes auftreten. Aufgrund der Modellberechnungen muss bestimmt werden können, wie die Menge, Wärmeerzeugung und Radiotoxizität der zu lagernden radioaktiven Abfälle mit verschiedenen Wiederaufbereitungstechnologien, durch Verwendung von modernen Brennstoffen (z.B. MOX, REMIX), bzw. durch Anwendung der Schnellreaktoren der Generation 4 reduziert werden können. Dieses Modell kann eine wissenschaftlich-technische Basis für die zukünftige Entscheidungsfindung sein.

### *Bestimmung der technischen Maßnahmen im VVER Reaktor, die die Wiederaufbereitung der Brennelemente aus der Reprozessierung ermöglichen*

Die Verwendung der reprozessierten Brennelemente ist aus mehreren Gründen begrenzt. Einerseits, ihr Vorhandensein im Reaktor beeinträchtigt die Steuerbarkeit des Reaktors aus physikalischen Gründen, daher sollen die Maßnahmen des Steuer- und Sicherheitsschutzsystems nach anderen Anforderungen konzipiert werden. Andererseits, die in das Atomkraftwerk eingehenden „frischen“ Brennelemente strahlen wegen der Wiederaufarbeitungsprozesses in geringem, aber nicht vernachlässigbarem Maße, deshalb erfordern die einschlägigen Vorschriften andere technische Lösungen, wie die, die bei den gewöhnlich verwendeten Brennelementen mit Uranoxid genügen. Aufgrund Beispiele aus dem Ausland soll – im Rahmen der Zusammenarbeit mit dem Lieferanten der neuen Blöcke von Paks – bestimmt werden, unter welchen technischen Bedingungen möglich wäre, dass die neuen Blöcke von Paks später auch wiederaufbereitete Brennstoffe verwenden.

Unter den Reaktoren der Generation 4 sind im Hinblick auf den Brennstoffkreislauf die Schnellreaktoren von wesentlicher Bedeutung, die einen weiteren Schritt hinsichtlich der Verwertung sowohl des natürlichen Urans als auch der in dem abgebrannten Brennstoff entstehenden sekundären Aktiniden im Vergleich zu den thermischen Reaktoren bedeuten. Der industriellen Umsetzung steht der natriumgekühlte Schnellreaktor am nächsten, während der bleigekühlte Schnellreaktor und der gasgekühlte Schnellreaktor als alternative Technologie betrachtet werden. Hinsichtlich der Zielsetzungen der Forschungs- und Entwicklungsaufgaben im Zusammenhang mit der Schlussphase des Kernbrennstoffkreislaufes ist es wichtig, dass für alle Schnellreaktortypen eine angemessene Fachkompetenz in Ungarn entsteht, vor allem im Hinblick darauf, dass auch die Errichtung des bleigekühlten Versuchsreaktors ALFRED und des gasgekühlten Versuchsreaktors ALLEGRO in der mittel- und osteuropäischen Region geplant ist. Aufgrund der bisherigen Mitwirkung der ungarischen Spezialisten sind der Reaktor ALLEGRO sowie die Forschungs- und Entwicklungsarbeit hervorzuheben, die die Errichtung eines Brennelement-Labors vorbereitete.

### *Reaktor ALLEGRO*

Unter den möglichen Schnellreakortechologien steht derzeit der gasgekühlte Schnellreaktor (im Folgenden: GFR), genauer gesagt, der Reaktor ALLEGRO für die Demonstration der Bedienbarkeit der GFR-Technologie im Mittelpunkt des Interesses in Ungarn. Der Reaktor wird wahrscheinlich in der Slowakei gebaut. Der GFR ist ein alternativer Schnellreaktor der Generation 4, der in Bezug auf die Transmutation und die Kraftstoffproduktion relevant sein kann. Diese Reaktoren können eine wichtige Rolle in der Wiederaufbereitung der sich anhäufenden abgebrannten Kernbrennstoffe spielen.

Die Demonstration der Bedienbarkeit der GFR-Technologie wird mit dem Reaktor ALLEGRO erfolgen. Zur Vorbereitung der Umsetzung des Reaktors ALLEGRO (mit starker Unterstützung aus Frankreich) wurde im Jahre 2010 eine Kooperationsvereinbarung von den Forschungsinstituten der Tschechischen Republik, der Slowakei und von Ungarn geschlossen, der sich auch das polnische Kernforschungsinstitut angeschlossen hat (2012). Die Teilnehmer haben im Jahre 2013 die Organisation V4G4 für die Koordination der Zusammenarbeit und die Außenvertretung gegründet.

Die Meilensteine des Umsetzungsprogramms sind die Vorbereitungsphase (2014-2018), die Phase für Genehmigung, Bau und Inbetriebnahme (2018-2030), der Betrieb und die Stilllegung des Reaktors. In der ersten Phase des Betriebs des Reaktors wird eine aus konventionellen Schnellreaktor-Brennelementen gebaute Zone arbeiten, und in dieser Phase werden die in der zweiten Phase zu verwendenden, modernen, für Hochtemperaturbetrieb geeigneten keramischen Heizelemente entwickelt.

#### *Prüflabor für Brennelemente*

Ein wichtiger Teil der nationalen nuklearen Forschungs- und Entwicklungspläne ist die Errichtung eines Prüflabors für Brennelemente. Das Prüflabor für Brennelemente würde am Standort des Atomkraftwerks Paks gebaut werden. Im Prüflabor sollen einerseits die durch Strahlung entstehenden physikalischen und chemischen Veränderungen der in den neuen Blöcken von Paks verwendeten Brennstäbe untersucht, bzw. dadurch – im Zusammenarbeit mit dem Lieferanten der Brennelemente – die Effizienz der Brennelemente verbessert werden, andererseits die Brennelemente der Reaktoren der Generation 4, vor allem des zukünftigen Reaktors ALLEGRO entwickelt und für die Nutzung im Reaktor bewertet werden. Die für die Entwicklung der Brennelemente des Reaktors ALLEGRO erforderlichen Bestrahlungen können im Forschungsreaktor Budapest erfolgen. Das Prüflabor für Brennelemente würde eine als Nuklearanlage fungierende Forschungsinfrastruktur sein, die Anforderungen von ungarischer, regionaler und europäischer Ebene erfüllt. In der ersten Umsetzungsphase der Investition (2015-2018) ist die Durchführung von Aufgaben zur Planung, Genehmigung, Errichtung und Inbetriebnahme notwendig. In der zweiten Umsetzungsphase der Investition (2024-2030) würden die Beschaffung und die Inbetriebnahme der zweiten Gruppe der Anlagen erfolgen. Die im Prüflabor für Brennelemente ausgeführten Arbeiten können hinsichtlich des Anlagenbetriebs in zwei Phasen unterteilt werden. In der ersten Betriebsphase (2019-2029) erfolgt die Einstufung der für den Reaktor ALLEGRO zu verwendenden Brennelemente, dann beginnen die Experimente in Bezug auf die – für den Reaktor ALLEGRO zu entwickelnden – neuen speziellen keramisch beschichteten Brennelemente. Zur gleichen Zeit können die Arbeiten begonnen werden, die Forschungsziele im

Zusammenhang mit den Blöcken 5 und 6 des Atomkraftwerks Paks dienen. Die zweite Phase des Anlagenbetriebs bezüglich der Aufgaben beginnt ab 2030. In diesem Zeitraum wird erwartet, dass die ersten bestrahlten Brennstäbe aus den neuen Blöcken von Paks und aus dem Reaktor ALLEGRO eintreffen. Dann kann auch mit der Prüfung der Brennelemente aus den neuen Blöcken des Atomkraftwerks in Paks begonnen werden. Das Prüflabor für Brennelemente kann eine entscheidende Rolle in der Gestaltung der nationalen Kompetenz in Bezug auf das Schließen des Kernbrennstoffkreislaufes spielen.

### **8.3 Forschungs- und Entwicklungsaufgaben im Zusammenhang mit der Entsorgung der radioaktiven Abfälle**

#### **8.3.1 Forschungs- und Entwicklungsbedarf im Zusammenhang mit dem Betrieb des RHFT und der Erhöhung der Sicherheit**

Die Lagereinheiten des RHFT sind über dem Grundwasserspiegel (in der ungesättigten Zone). Der Grundwasserspiegel liegt um 10-15 m unter den Lagerbecken.- Unter Berücksichtigung der früheren Ergebnisse soll das für die Ausbreitung in der ungesättigten Zone verwendete Konzeptmodell durch Sicherheitsbewertungen präzisiert werden.

Die endgültige Schließung des Lagers spielt eine wichtige Rolle in der Gewährleistung der langfristigen Sicherheit der oberirdischen Abfalllager. Zur Bestimmung des Konzeptes und der Schichten der endgültigen Abdeckung soll künftig ein Demonstrationsexperiment geplant, dann umgesetzt und betrieben werden. Aufgrund der Verarbeitung der Ergebnisse des Demonstrationsprogramms und der Betriebserfahrungen kann das endgültige Konzept zur Abdeckung entwickelt werden.

Das Konzept für die Stilllegung der Rohrbrunnen in dem äußeren Lagerraum (von Typ B und D) – die solche Strahlungsquellen enthalten, dass diese in dem geologischen Tiefenlager endgelagert werden – soll bestimmt werden. Dazu soll die Methode der Aushebung, Zerlegung, Umpackung (in Container legen) der Rohrbrunnen ausgearbeitet, die notwendigen Strahlenschutz gewährenden Mittel geplant werden. Spezielle Straßentransportbehälter sollen für den Abtransport der Lagerrohrteile und Rohrbehälter (Torpedos) mit einer Dosisrate von mehr als 10 mSv/h ins Endlager entwickelt werden.

Im Rahmen der Demontage der oberirdischen Anlagen des Abfalllagers soll längerfristig eine radiologische Zustandsaufnahme durchgeführt werden, aufgrund deren die Menge der entstehenden radioaktiven Abfälle genauer bestimmt werden kann.

#### **8.3.2 Forschungs- und Entwicklungsbedarf im Zusammenhang mit dem Betrieb und der Erweiterung des RHFT**

Die Lagerung der schwach- und mittelaktiven radioaktiven Abfälle aus dem Atomkraftwerk in Ungarn ist durch die Errichtung des Lagers in Bataapáti grundsätzlich gelöst. Trotzdem ist

die Durchführung von einigen zusätzlichen Forschungs- und Entwicklungsaufgaben gerechtfertigt, deren Ziel ist, vor allem das Lagerungssystem zu optimieren, die Betriebssicherheit zu erhöhen sowie die Prozesse nach dem Abschluss des Lagers vorherzusagen, bzw. genauer zu bestimmen.

Nach der Errichtung der Lagerkammern I-K3 und I-K4 werden im NRHT ein paar Jahre lang keine weiteren Kammern gebaut. Daher sollen die geologisch-tektonischen, hydrogeologischen und geotechnischen Kenntnisse, die Erfahrungen über die Raumbildung – insbesondere hinsichtlich der Angemessenheit der Spalten und der Injektion – in Bezug auf den Standort am Ende der Bauphase zusammengefasst werden.

Die Menge der Abfälle aus der Stilllegung der derzeit funktionierenden Blöcke des Atomkraftwerks Paks sowie der Abfälle aus dem Betrieb und der Stilllegung der künftig entstehenden neuen Atomkraftwerksblöcke machen die Erweiterung des NRHT notwendig. Zur Bestimmung der optimalen Erweiterungsrichtung sollen unterirdische Explorationsbohrungen durchgeführt werden.

Im Zusammenhang mit der Errichtung der neuen Atomkraftwerksblöcke soll eine detaillierte Schätzung über die erwartete Menge und die wichtigsten Komponenten der schwach- und mittelaktiven Abfälle erstellt werden. Bereits vor dem Bau soll der Spurenelementgehalt der möglichen Zement- und Zusatzstoffe geprüft und die Minimierung der Aktivität, bzw. des Volumens der Stilllegungsabfälle mit geeigneten Rezepturen gewährleistet werden. Um die Menge der Stilllegungsabfälle zu schätzen, soll die Isotopenzusammensetzung und die Aktivität des Reaktorbehälters, der Reaktoranlagen und der Betonkonstruktionen in der Nähe des Behälters mit Hilfe von dreidimensionalen Berechnungen des Neutronenflusses bestimmt werden. Parallel soll analysiert werden, wie die Lagerung der vor allem bei der Stilllegung der Atomkraftwerke entstehenden, zur Eingabe geplanten, sehr schwachaktiven Abfälle (vor allem Beton und Metall) in den Spalten des NRHT gelöst werden kann.

Wie im Kapitel 6.2.4 beschrieben, spielen die sogenannten Stauverschlussstopfen eine Schlüsselrolle in der Sicherheit der Phase nach der Schließung des NRHT. Die konzeptionellen Pläne für die Gestaltung des Verschlussstopfens sind fertig. Aufgrund weiterer Materialprüfungen sollen die detaillierten Pläne zur Gestaltung des Stauverschlussstopfens erstellt, dann das Programm für die Demonstration und Prüfung vor Ort zum Nachweis der Errichtung und Eignung des Verschlussstopfens durchgeführt werden.

Die regelmäßige Überwachung der Umgebungsbedingungen des Lagers, die geologische und hydrogeologische Überwachung sollen fortgesetzt werden, da anhand dieser Daten genauere Prognosen für die Zeit nach der Schließung aufgestellt werden können. Man soll sich eingehender mit den transienten Vorgängen der schrittweisen Errichtung und Schließung des NRHT beschäftigen. Die thermodynamischen Eigenschaften der Entwicklungsphasen nach der endgültigen Schließung des Lagers, das Verhalten der maßgebenden Radionuklide in den einzelnen Entwicklungsphasen sollen genauer bestimmt und die Dauer der einzelnen Phasen soll geschätzt werden. Die komplexe Wirkung der verschiedenen langfristigen Klimaveränderungen sowie die Möglichkeit der eventuellen Drei-Phasen-Ausbreitung der radioaktiven Isotope sollen geprüft werden. Bei den regelmäßig durchzuführenden Sicherheitsüberprüfungen sollen die Dosisberechnungen für die verschiedenen



Entwicklungsszenarien aufgrund der neuesten internationalen Erkenntnisse, nach neuen numerischen Modellierungsmöglichkeiten aktualisiert werden.

### **8.3.3 Forschungs- und Entwicklungsaufgaben im Zusammenhang mit der Errichtung des Tiefenlagers**

Für die Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationstätigkeiten im Zusammenhang mit der Endlagerung der hochaktiven und langlebigen radioaktiven Abfälle soll ein Forschungsrahmenprogramm erstellt werden, das von der OAH [*Nationale Atomenergiebehörde*] genehmigt wird. Das Forschungsrahmenprogramm umfasst auch das geologische Forschungsrahmenprogramm für den Nachweis der geologischen Eignung des Standortes. Die auszuarbeitenden Forschungsrahmenprogramme sollen die folgenden Themen umfassen:

Menge, Isotopeninventar, physikalische und chemische Eigenschaften der im Lager zu entsorgenden radioaktiven Abfälle, mögliche Gestaltung, Entwicklung der Abfallformen, Material, Größe, Langzeitverhalten der verschiedenen Abfallgebinde (Entsorgungsbehälter) sollen bestimmt werden, unter Berücksichtigung der Entscheidungsmöglichkeiten für die Abschließung des nuklearen Brennstoffkreislaufs.

Die Möglichkeiten der Errichtung des technischen Deichsystems, die verwendbaren Materialien, Anordnungen, das Verhalten und die Rolle der verschiedenen Füllungs- und Schuttmaterialien in der Gewährleistung der langfristigen Sicherheit und die technologischen Bedingungen für die Umsetzung des Deiches sollen geprüft werden. Die Gestaltung, das System der Isolierung- und Verschlussstopfen für das Verschließen der Behälter soll geplant, das Konzept für das Verschließen soll ausgearbeitet werden.

Die mechanischen, physikalischen, chemischen, thermischen, mikrobiologischen und radiologischen Prozesse sollen bestimmt werden, die das Verhalten, die Eigenschaften des Wirtsgesteins in der direkten geologischen Umgebung des Lagers infolge der Raumbildung und Lagerung von Abfällen beeinflussen, ändern. Die möglichen Methoden zur Raumbildung und Bereitstellung von Hohlräumen soll ausgearbeitet werden.

Die derzeitigen Bedingungen und die langfristige Entwicklung der weiteren geologischen Umgebung des Lagers sollen geprüft werden. Im Rahmen der geologischen Forschung soll die geometrische Verbreitung, die mineral-petrographischen, hydrogeologischen und Transporteigenschaften des Wirtsgesteins, die geodynamischen Eigenschaften des Gebiets, die erwartete Oberflächenentwicklung bestimmt werden. Das Wasserströmungssystem unter der Erdoberfläche und seine möglichen künftigen Änderungen sollen mit numerischer Modellierung für die verschiedenen Klimaszenarien evaluiert werden. Die Prozesse der Gasbildung und des Gastransports sollen analysiert werden.

Die natürliche Umgebung des Abfalllagers, der Grundzustand, die erwarteten Auswirkungen auf die Umwelt durch die Errichtung und den Betrieb des Abfalllagers, die Wirkungsbereiche und Zustandsänderungen sollen beschrieben werden. Die Anordnung der Oberflächenanlagen, die geomorphologischen Risiken sollen definiert werden. Verschiedene Szenarien sollen für

die voraussichtlichen Transportprozesse in der Biosphäre nach der Schließung des Abfalllagers ausgearbeitet werden.

Ein Konzept für die Gestaltung der Abfallgebinde (Konditionierung, in Container legen), für den Transport zum Standort soll ausgearbeitet werden. Im Voraus sollen die Fragen der radiologischen Betriebssicherheit, der Ausschluss der Kritizität, die Fragen im Zusammenhang mit der Registrierung, Wiederherstellbarkeit der Abfallgebinde behandelt, die Anforderungen der langfristigen Datenaufbewahrung, die Erwartungen in Bezug auf die Überwachung und institutionelle Kontrolle ausgearbeitet werden.

Die Modelle für die Bewertung der Betriebs- und langfristigen Strahlensicherheit des Abfalllagers, die Softwares und die Methoden, bzw. die Methodik für die Sicherheitsbewertung sollen in Einklang mit den internationalen Empfehlungen entwickelt werden. Die Erfahrungen, die Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationstätigkeiten der fortgeschrittenen ausländischen Entsorgungsprogramme sollen studiert und die anwendbaren Lösungen angepasst werden.

## **8.4 Forschungs- und Entwicklungsaufgaben im Zusammenhang mit der Stilllegung**

Bei der Stilllegung von nuklearen Anlagen müssen zahlreiche Überlegungen durchgesetzt werden, die wissenschaftliche Grundlage sowie umfassende technische und wirtschaftliche Planung erfordern. Dazu gehören die Stilllegungsaufgaben, wobei radioaktiv kontaminierte Materialien behandelt und dadurch radioaktive Abfälle hergestellt werden. Ein Forschungsprojekt kann notwendig sein, dessen Ziel ist, eine Wissensbasis (Bildungssystem) zu schaffen, mit der Folgende gefördert werden können:

- Optimierung der Strahlenexposition bei den Experten, die die Aufgaben durchführen: Erforschung der Möglichkeiten der inneren Strahlenexposition, Minimierung der Aufnahme, Entwicklung von schnellen Berechnungsmethoden und Messverfahren für die Bestimmung der Aufnahme; Berechnung, Messung der Dosisfelder der äußeren Strahlenexposition und die Methoden der Verwendung der Schutzmaterialien.
- Vorbereitung von ferngesteuerten und manuellen Betriebsverfahren: Planung und Prüfung von Roboter-, Steuerung- und Messanlagen, die für die Demontage, bzw. den Rückbau geeignet sind, Mittel und Methoden zur Behandlung und Konditionierung der radioaktiver Abfälle vor Ort, spezielle Anforderungen an die Entsorgung der Stilllegungsabfälle.
- Analyse der Besonderheiten der Unfallverhütung bei Stilllegungsarbeiten: Methodik zur Ausarbeitung von Notfallplänen, Auswahlkriterien der bei der Unfallverhütung verwendbaren Mittel.
- Bestimmung und Minimierung der möglichen Auswirkungen auf die Umwelt.

Für die oben dargelegten Aufgaben (insbesondere für die ersten beiden) wäre die Errichtung einer Demonstrationsanlage sehr vorteilhaft, das heißt der Bau eines Gebäudes, in dem die oben beschriebenen Tätigkeiten sicher und effektiv ausgeführt werden können. Das Forschungs- und Entwicklungsprogramm für die Entwicklung der Technologie zur Stilllegung ist im Kapitel 4.3.2 „Nationale Prioritäten“ der von der Regierung im Dezember 2014 genehmigten Nationalen Strategie zu intelligenter Spezialisierung enthalten.

Zusätzlich zu den oben dargelegten Themen kann die Entwicklung eines speziellen Messgerätes für die Bestimmung der Aktivitätskonzentration und der Verteilung der Aktivität der demontierten technologischen Materialien und des kontaminierten Betonschutts notwendig sein. Das Gerät hilft – bei gammastrahlenden Radionukliden durch direkte Messung, bei anderen Radionukliden durch Anwendung der sog. „Scaling-Faktor“ Methode – einfach und schnell zu entscheiden, ob die gegebene Materialmenge freigesetzt werden kann oder nicht.- Für die Bewertung der Wandoberflächen, die Durchsetzbarkeit ihrer Freisetzung sollte ein automatisiertes System entwickelt werden, das nach einem ähnlichen Prinzip funktioniert, wie das oben erwähnte Messgerät.

## **9 Endpunkte und innere Zusammenhänge des nationalen Programms**

In diesem Kapitel werden die Zusammenhänge der Maßnahmen des nationalen Programms in Bezug auf die derzeit in Betrieb befindlichen vier Atomkraftwerksblöcke, für die – durch den Abschluss der Stilllegung – vorgesehene Zeitdauer dargelegt. In den vorangegangenen Kapiteln wurde detailliert dargestellt, wie die neuen Atomkraftwerksblöcke in dieses System eingefügt werden können. Im Zusammenhang mit den einzelnen Anlagen, Maßnahmen können die folgenden Referenzszenarien ausgewählt werden.

Bei dem Forschungsreaktor in Budapest wird die Abschaltung im Jahr 2023 als Referenzfall berücksichtigt. Nach der Übergangszeit erfolgt die Stilllegung der Anlage. Das Referenzdatum für die Abschaltung des Lehrreaktors im nationalen Programm ist das Jahr 2027, dem die Übergangszeit und die Stilllegung bis zum gewünschten Endzustand folgen. Mit dem Abtransport der abgebrannten Brennelemente des Forschungsreaktors in Budapest nach Russland soll bis zur Stilllegung des Lehrreaktors gewartet werden, damit der Abtransport aller abgebrannten – und eventuell verbleibenden frischen – Brennelemente gleichzeitig stattfinden kann.

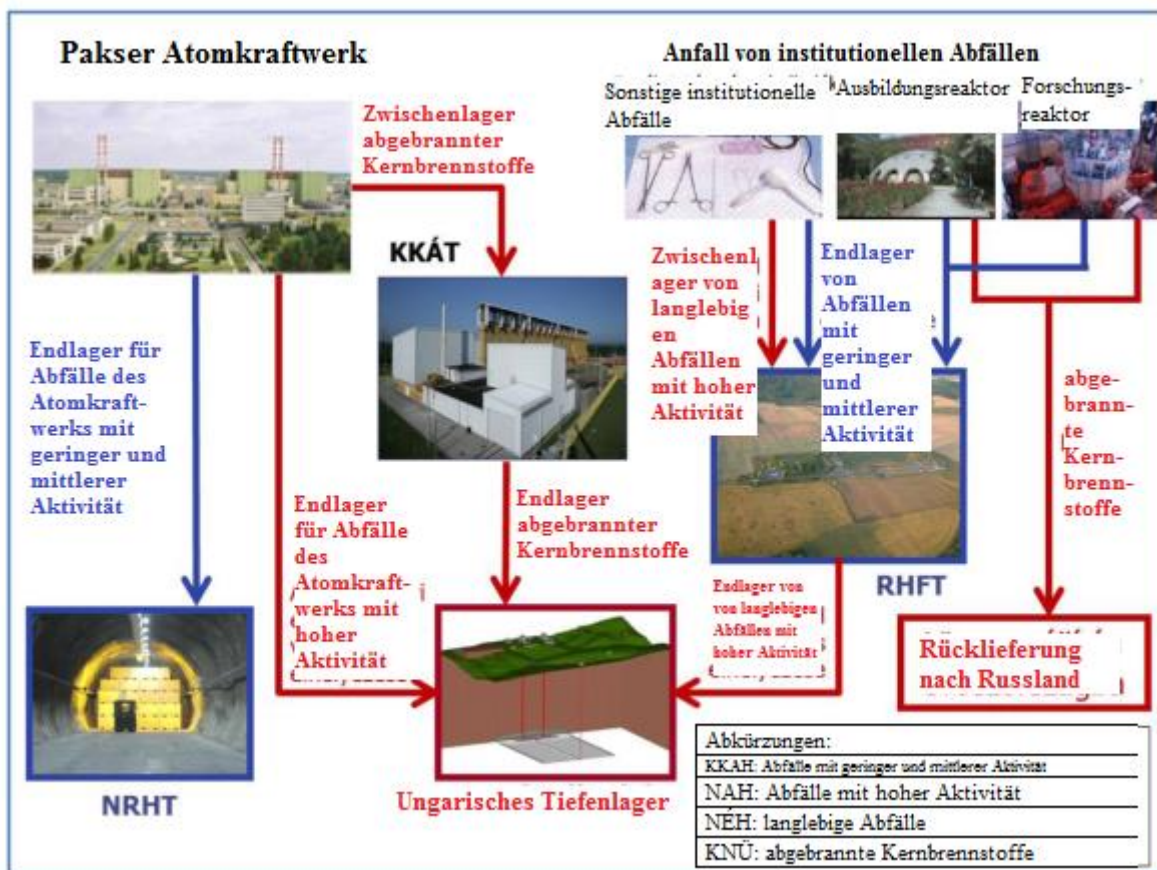
Die vier in Betrieb befindlichen Blöcke des Atomkraftwerks Paks werden zwischen 2032 und 2037 abgeschaltet. Nach der Übergangszeit zur Gewährleistung der Kühlung der abgebrannten Brennelemente der letzten Kampagne erfolgen die geschützte Erhaltung des Primärkreislaufes für die Dauer von 20 Jahren und dann die Demontage der Reaktoren bis zum – im Stilllegungsplan – vorgesehenen Endzustand.

Die schwach- und mittelaktiven Abfälle des Atomkraftwerks werden im NRHT endgelagert. Das Abfalllager soll nach der Menge der Betriebs-, bzw. später der Stilllegungsabfälle erweitert werden. Aufgrund der verzögerten Stilllegungsstrategie des Atomkraftwerks Paks

wird es während des Betriebs des Abfallagers eine Zeit geben, als nur Zustandserhaltung erfolgt, aber keine Abfälle eingeliefert oder entsorgt werden. Danach werden die schwach- und mittelaktiven Abfälle aus dem demontierten Atomkraftwerk Paks entsorgt, gefolgt von der Demontage der Standortoberfläche des NRHT, der Schließung des Abfallagers und der aktiven institutionellen Überwachung.

Die institutionellen radioaktiven Abfälle werden vom RHFT empfangen. Die Anlage ist geeignet für die Endlagerung kurzlebiger schwach- und mittelaktive Abfälle und die Abfälle, die in dem oberirdischen Abfallager nicht endgelagert werden können, werden in dem Zwischenlager am Standort abgelagert. Die langlebigen Abfälle, deren Zwischenlagerung von dem RHFT gewährleistet wird, werden in dem geologischen Tiefenlager in Ungarn endgelagert. Daraus folgt, dass das RHFT mindestens so lange betrieben werden soll, bis die oben erwähnten Abfälle in das geologische Tiefenlager transportiert werden können. Dann kann mit dem Rückbau der Gebäude begonnen und das Abfallager geschlossen werden, und dann beginnt die aktive institutionelle Überwachung.

Die Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente aus dem Betrieb des Atomkraftwerks Paks erfolgt im KKÁT in Paks. Gemäß dem Referenzszenario für die Schlussphase des Kernbrennstoffkreislaufs werden die abgebrannten Brennelemente direkt in einem in Ungarn zu errichtenden geologischen Tiefenlager abgelagert, das nach den derzeitigen Plänen im Jahr 2064 in Betrieb genommen wird. Ebenfalls in diesem Abfallager werden die während des Betriebs und bei der Stilllegung des Atomkraftwerks Paks entstehenden hochaktiven und/oder langlebigen radioaktiven Abfälle gelagert.



*Abbildung 24: Das logische Schema der Entsorgung der abgebrannten Brennelemente und radioaktiven Abfälle*

Das oben dargestellte Schema der Entsorgung der abgebrannten Brennelemente und radioaktiven Abfälle aufgrund der Referenzszenarien, die derzeit in Ungarn verwendet werden, ist auf der Abbildung 24, die Zeitplanung auf der Abbildung 21 veranschaulicht.

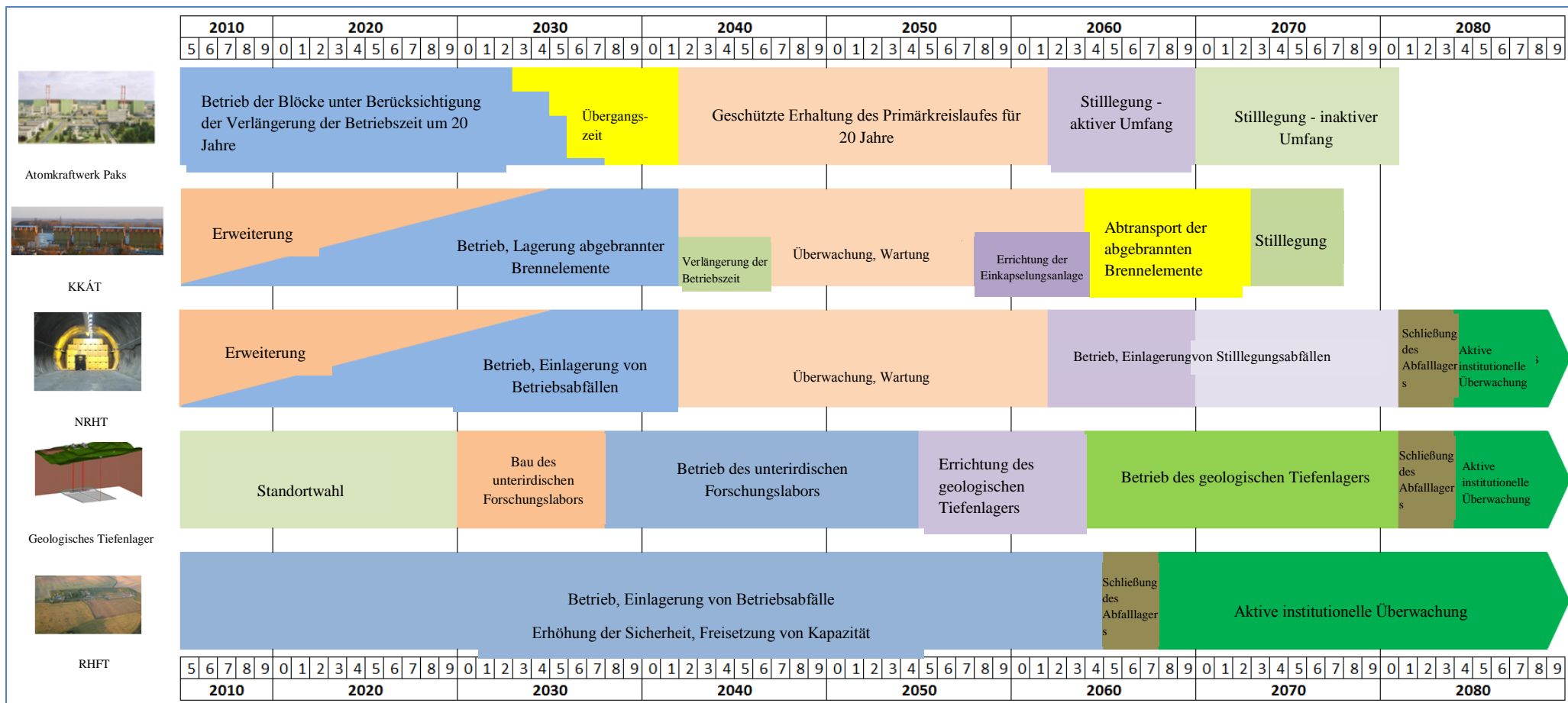


Abbildung 25: Zeitplan für die Maßnahmen in Bezug auf die Behandlung der abgebrannten Brennelemente und radioaktiven Abfälle unter Berücksichtigung der derzeit in Betrieb befindlichen vier Atomkraftwerksblöcke

## 10 Überwachung der Entwicklung

In den vorangegangenen Kapiteln des nationalen Programms wurden die Aufgaben im Zusammenhang mit der Endlagerung der radioaktiven Abfälle, der Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente und dem Schlussphase des Kernbrennstoffzyklus sowie mit der Stilllegung beschrieben. Da die Überprüfung des nationalen Programms alle fünf Jahre durchzuführen ist – wenn eine wesentliche Änderung eine frühere Überprüfung nicht gerechtfertigt, sind in der Tabelle 20 die wichtigsten erwarteten Meilensteine in den kommenden 5 Jahren für die wichtigsten Programmelemente dargestellt. Im Vergleich zu diesen Meilensteinen kann die Entwicklung der einzelnen Maßnahmen definiert werden, die auch in dem nationalen Bericht erwähnt werden soll, der gemäß der Richtlinie alle drei Jahre für die Europäische Kommission zu erstellen ist.

*Tabelle 20: Leistungsindikatoren, die für die Bewertung der Entwicklung der einzelnen Maßnahmen in den nächsten fünf Jahren verwendet werden können*

<b>Anlage / Maßnahme</b>	<b>Meilenstein</b>	<b>Zu erreichendes Ziel</b>
Einführung der Kategorie der sehr schwachaktiven Abfälle	2020	Ausarbeitung des Konzepts für die Endlagerung der sehr schwachaktiven Abfälle und Einführung der notwendigen Gesetzesänderungen.
Schlussphase des Kernbrennstoffzyklus	2020	Erstellung der vergleichenden sicherheitsbezogenen, technischen, wirtschaftlichen Überprüfung in Bezug auf die Schlussphase des Kernbrennstoffkreislaufs
Behandlung radioaktiver Abfälle im Atomkraftwerk Paks	2017	Inbetriebnahme der Zementierungstechnologie für die Herstellung von kompakten Abfallgebänden.
RHFT	2017	Errichtung der Bedingungen für die Fortsetzung des Programms zur Erhöhung der Sicherheit, dann Rückproduktion der radioaktiven Abfälle.
NRHT	2017	Inbetriebnahme der Lagerkammer I-K2, die die in dem Atomkraftwerk Paks hergestellten kompakten Abfallgebände aufnehmen kann.
KKÁT	2017	Beendigung der Errichtung der Kammern 21-24.
Auswahl des Standortes des Tiefenlagers	2020	Abschluss der Oberflächenexplorationsphase I, darauf basierend Erstellung des Plans der Oberflächenexplorationsphase II.
Stilllegung des Atomkraftwerks Paks	2016	Überprüfung und erforderliche Aktualisierung des Stilllegungsplans des Atomkraftwerks Paks.
Stilllegung des Forschungsreaktors in Budapest	2020	Überprüfung und erforderliche Aktualisierung des Stilllegungsplans des Forschungslabors Budapest.

Anlage / Maßnahme	Meilenstein	Zu erreichendes Ziel
Stilllegung des Lehrreaktors	2019	Überprüfung und erforderliche Aktualisierung des Stilllegungsplans des Lehrreaktors.
Stilllegung des KKÁT	2016	Überprüfung und erforderliche Aktualisierung des Stilllegungsplans des KKÁT.

## 11 Finanzierung der Maßnahmen

### 11.1 Zentraler Nuklearfonds

Die Anwender der Atomenergie, bei deren Tätigkeit radioaktive Abfälle oder abgebrannte Brennelemente entstehen, sind verpflichtet die Kosten der Entsorgung – bei Nuklearanlagen auch die Kosten der Stilllegung – zu tragen.

Nach den Bestimmungen des Atomgesetzes finanziert der Fonds – als gesonderter Staatsfonds – die Durchführung der Aufgaben im Zusammenhang mit der Endlagerung der radioaktiven Abfälle sowie mit der Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente und der Schließung des nuklearen Brennstoffkreislaufs, bzw. mit der Stilllegung von Nuklearanlagen. Die Geldmittel des Fonds dürfen ausschließlich für die Finanzierung dieser Tätigkeiten verwendet werden.

Die Methode zur Bereitstellung der langfristigen finanziellen Mittel für die Entsorgung der im Atomkraftwerk Paks entstehenden radioaktiven Abfälle und abgebrannten Brennelemente sowie für die Stilllegung der Anlage, die Bestimmung der Beiträge für den Fonds sind im Kapitel 11.2 detailliert beschrieben.

Bei von Haushaltsinstituten betriebenen Nuklearanlagen – wie bei dem Forschungsreaktor Budapest und dem Lehrreaktor – sind die Kosten im Zusammenhang mit der Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente, Schließung der nuklearen Brennstoffkreislaufs sowie der Stilllegung der Nuklearanlage beim Anfallen der Kosten in den Fonds einzuzahlen, deren Mittel von dem zentralen Budget im Jahresbudget der unterhaltenden Institution bereitgestellt wird.

Die Zahlungspflicht im Zusammenhang mit der Endlagerung von radioaktiven Abfällen aus institutionellen Quellen ist beim Transport in das RHFT den Bestimmungen des Atomgesetzes entsprechend zu erfüllen.

Die Geldmittel des Fonds werden auf einem Einzelkonto der Staatskasse gesondert erfasst und wird – um die Wertbeständigkeit zu gewährleisten – Unterstützung aus dem Staatshaushalt (Zinsendienst) gewährt, deren Höhe aufgrund des durchschnittlichen Leitzinses im Vorjahr für den durchschnittlichen Geldbestand im Vorjahr berechnet wird.



## 11.2 Mittel- und langfristigen Finanzplanung

Die Aufgaben im Zusammenhang mit der Entsorgung der radioaktiven Abfälle und abgebrannten Brennelemente des Atomkraftwerks Paks sowie mit der Stilllegung der Anlage sind in dem vom zuständigen Minister genehmigten, jährlich aktualisierten sog. mittel- und langfristigen Plan zusammengefasst. Dieser Plan enthält die bei der Durchführung der oben genannten Tätigkeiten anfallenden Kosten, für deren Deckung das Atomkraftwerk Paks bis zum Ende der Betriebszeit jährlich gleichmäßig verteilt Beiträge in den Fonds zahlen muss. Die Bestimmung der Zahlungsverpflichtung soll mit der Methode der Kapitalwertberechnung durchgeführt werden, wobei der Barwert (Gegenwartswert) der in der Zukunft anfallenden Kosten soll mit dem Barwert des Betrags aus dem Fonds und den weiteren Beträgen des Atomkraftwerks Paks übereinstimmen. Die jährliche Zahlungsverpflichtung des Atomkraftwerks Paks soll nach der folgenden Formel bestimmt werden.

$$F_0 + \sum_{i=0}^{n-1} \frac{B_i}{(1+d)^i} - \sum_{i=0}^{m-1} \frac{K_i}{(1+d)^i} = 0$$

Wobei:  $F_0$ : der im Fonds angehäuften Geldbetrag bis zum Datum der Berechnung  
 $B_i$ : Zahlungsverpflichtung des Atomkraftwerks Paks im Jahr „i.“  
 $n$ : Zahl der Jahre der Einzahlung  
 $K_i$ : Kostenbedarf der aus dem Fonds finanzierten Tätigkeiten im Jahr „i.“  
 $m$ : Zahl der Jahre der Auszahlung  
 $d$ : Diskontfaktor

Das Staatsbudget leistet für den Bestand des Fonds Zinsendienst gemäß Kapitel 11.1. Aufgrund der angewandten Methodik ist der Diskontfaktor in der Kapitalwertberechnung der „Realzins-Gehalt“ des Leitzinses, d.h. der Teil über die Inflation.

Tabelle 21: Kostenbedarf der aus dem Fonds finanzierten Tätigkeiten auf Basispreis von 2015

Tätigkeit	Kostenbedarf (Millionen Forint)
<b>Nationales Endlager für radioaktive Abfälle (NRHT)</b>	<b>78.799,1</b>
Errichtung, Erweiterung	20.976,7
Betrieb	30.521,8
Lagerung, Erhaltung des Zustandes	7.241,6
Schließung, institutionelle Überwachung	20.058,9
<b>Entsorgung von hochaktiven Abfällen</b>	<b>745.278,5</b>
Aufbereitung	58.130,0
Errichtung	293.568,1
Betrieb	326.164,2
Schließung, institutionelle Überwachung	67.416,2
<b>Zwischenlagerung von abgebrannten Brennstoffkassetten (KKÁT)</b>	<b>120.738,3</b>
Errichtung, Erweiterung	60.282,6
Sanierung	519,6
Betrieb von KKÁT	59.936,1
<b>RHFT in Püspökszilágy</b>	<b>46.550,3</b>

Erhöhung der Sicherheit	2.267,1
Betrieb	30.496,8
Schließung, institutionelle Überwachung	13.786,5
<b>Stilllegung und Rückbau des Atomkraftwerks Paks und des KKÁT</b>	<b>386.669,7</b>
<b>Sonstige Kosten</b>	<b>272.366,1</b>
Unterstützung für Kommunen	98.233,8
Fondsverwaltung	9.928,4
Aufsichtsgebühren	60.287,8
Betriebskosten der RHK Kft.	103.916,1
<b>INSGESAMT:</b>	<b>1.650.402,0</b>

Aufgrund der Kostenschätzung des im Jahr 2014 erstellten 14. mittel- und langfristigen Plans sind die Kostenelemente, die bei der Bestimmung der Zahlungsverpflichtung des Atomkraftwerks Paks in den Fonds berücksichtigt wurden, auf Basispreis von 2015, ohne Diskontierung in der Tabelle 21 dargestellt. Die Berechnung wurde für den Referenzfall und Zeitplanung wie im Kapitel 9 beschrieben – aufgrund der Verlängerung der Betriebszeit des Atomkraftwerks Paks um 20 Jahre und der direkten Versorgung der abgebrannten Brennelemente – im nationalen Programm für die vorhandenen vier Atomkraftwerksblöcke für die Zeit bis 2084 erstellt.

Aufgrund des Zeitplans des Kostenbedarfs der aus dem Fonds finanzierten Tätigkeiten, mit einem Diskontfaktor von 2,5% gerechnet, ist der Barwert der in der Tabelle 21 beschriebenen Ausgaben HUF 672 492 Mio. Mit diesem Barwert soll die Summe des Barwerts des Fondsbestandes zu Beginn des Jahres 2015 (HUF 246 376 Mio.) sowie der vom Atomkraftwerk Paks bis zum Ende seiner Betriebszeit regelmäßig zu leistenden Einzahlungen übereinstimmen. Dadurch ist gewährleistet, dass die Kosten im Zusammenhang mit der Entsorgung radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente sowie der Stilllegung von dem Lizenznehmer gezahlt werden, für dessen Betrieb diese Kosten anfallen. Die vom Atomkraftwerk Paks in den Fonds eingezahlten Beiträge zur Deckung der Durchführung der im nationalen Programm erfassten Aufgaben werden in den Strompreis eingearbeitet, wodurch der Grundsatz erfüllt wird, dass die heutige Generation keine ungerechtfertigten Lasten an die künftigen Generationen überträgt.

### **11.3 Einfügung der neuen Atomkraftwerksblöcke in das Finanzierungssystem**

Der Lizenzinhaber der neuen Atomkraftwerksblöcke am Standort Paks wird nach der Inbetriebnahme des fünften Blocks Einzahlung in den Fonds leisten. In den vorangegangenen Kapiteln wurde dargelegt, dass die Entsorgung der in den neuen Blöcken entstehenden abgebrannten Brennelemente und radioaktiven Abfälle sicher gelöst werden kann.

Die vorläufigen Analysen ergaben, dass, wenn bei der Entsorgung der radioaktiven Abfälle und abgebrannten Brennelemente die von den sechs Atomkraftwerksblöcke berichteten

größere Menge berücksichtigt wird, sind die Einheitskosten der Entsorgung von radioaktiven Abfällen (sowohl für die Menge des Abfalls als auch für die erzeugte Strommenge) viel günstiger. Das ist eine natürliche Folge der Tatsache, dass die Fixkosten der Anlagen, die für die sechs Blöcke gemeinsam zugänglich sind (z.B. NRHT, geologisches Tiefenlager) nicht auf vier, sondern auf sechs Blöcke sich verteilen.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die neuen Blöcke in das Finanzierungssystem, das für die Entsorgung radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente und für die Stilllegung von Nuklearanlagen errichtet wurde, eingegliedert werden können, die Zahlungspflicht des Lizenzinhabers in den Fonds kann unter Berücksichtigung des aktuellen Referenzszenarios bestimmt werden.

## **12 Gewährleistung der Transparenz, Beteiligung der Öffentlichkeit an der Entscheidungsfindung**

Eine Schlüsselfrage der Anwendung der Atomenergie ist das Vertrauen und die Unterstützung der Bevölkerung zu gewinnen und aufrechtzuerhalten, was vor allem für die Entsorgung radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente, für Tätigkeiten bezüglich Endlagerung gilt. Auch die Analyse der internationalen Praxis bestätigt die Notwendigkeit der Beteiligung der Öffentlichkeit an mehreren Beispielen; die nationalen Programme können erfolgreich sein, die von der Öffentlichkeit in Zusammenarbeit unterstützt sind.

Die Kontaktpflege mit der ungarischen Bevölkerung beruht auf der Zusammenarbeit mit den Gemeindeverbänden, die in der Umgebung der errichteten Anlagen zu Überwachungs- und Informationszwecken gegründet wurden. Diese Partnerschaften entstanden in den frühen Phasen der Programme zur Entsorgung radioaktiver Abfälle (wie im Kapitel 12.1 beschrieben) und sind seitdem innerhalb der im Atomgesetz festgelegten Rahmen unterhalten. Das ermöglichte und ermöglicht heute die erfolgreiche Entwicklung der Programme, die Errichtung der Anlagen und deren reibungslosen Betrieb. Die bestehenden Gemeindeverbände – deren Lage auf der Abbildung 22 dargestellt ist – sind:

- für das RHFT in Püspöcszilágy: Izotóp Tájékoztató Társulás (**ITT**) (Isotop Informationsverband), der 5 Mitglieder – die Gemeinden Kisnémedi, Püspöcszilágy, Váckisújfalu, Váchartyán, Órbottyán – hat;
- für das NRHT in der Region von Bataapáti: Társadalmi Ellenőrzési Tájékoztató Társulás (**TETT**), (Gesellschaftlicher Kontrollinformationsverband) der 7 Mitglieder – die Gemeinden Bataapáti, Bataaszék, Cíkó, Feked, Mórágy, Mőcsény, Véménd – hat;
- im Zusammenhang mit dem Programm zur Standortwahl des geologischen Tiefenlagers: Nyugat-mecseki Társadalmi Információs és Területfejlesztési Önkormányzati Társulás (**NyMTIT**), (West-Mecseker Gesellschaftlicher Informations- und Landesplanungskommunalverband) der 9 Mitglieder – die Gemeinden Bakonya, Boda, Kővágószőlős, Kővágótöttös, Hetvehely, Cserkút, Cserdi, Helesfa, Bükkösd – hat;

- für das KKÁT von Paks: Társadalmi Ellenőrző Információs és Településfejlesztési Társulás (TEIT) (Gesellschaftlicher Kontrollinformations- und Gemeindeentwicklungsverband), der 13 Mitglieder – die Gemeinden Kalocsa, Bácsa, Dunaszentgyörgy, Dunaszentbenedek, Fadd, Foktő, Géderlak, Gerjen, Ordas, Paks, Pusztahencse, Tengelic, Uszód – hat.

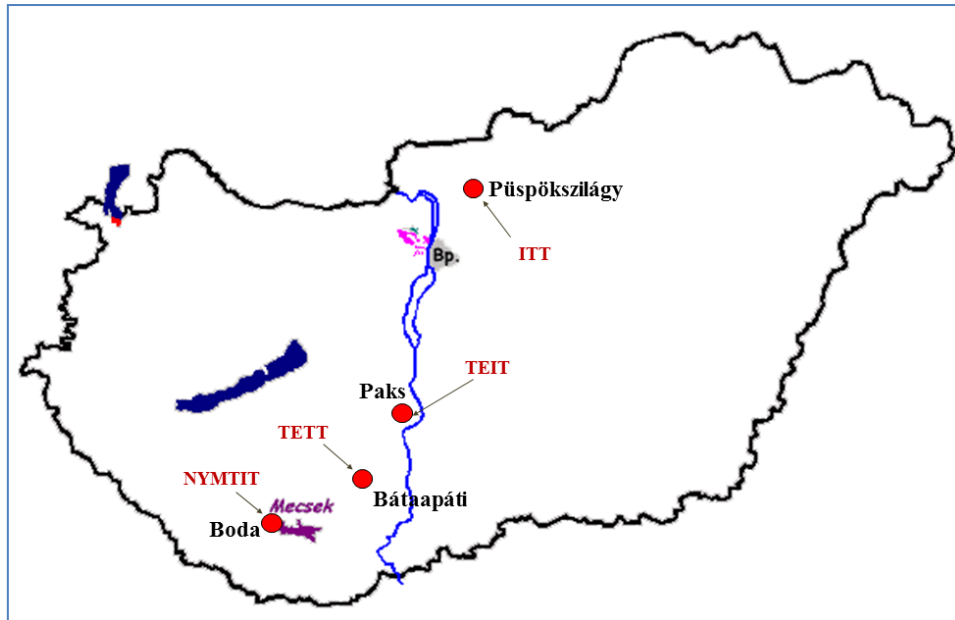


Abbildung 26: Gemeindeverbände zu Kontroll- und Informationszwecken

Die Gemeindeverbände arbeiten mit den Einrichtungen zusammen, um Informationen in Zusammenhang mit den Maßnahmen für die lokale Bevölkerung zu übermitteln, andererseits sammeln und übermitteln die Meinung der in der Region lebenden Menschen für die Teilnehmer an der Umsetzung des Programms. Die Verbände unterhalten Webseiten, um die aktuellsten Informationen zu übermitteln, sowie die betroffene Bevölkerung wird durch Newsletter, Kabel-TV-Sendungen informiert. Auch die Kontrollfunktion der Verbände ist sehr wichtig. In diesem Zusammenhang wurden Gruppen aus den lokalen Einwohnern gebildet, die den zuverlässigen Betrieb der Anlage in ihrer Umgebung in regelmäßigen Abständen kontrollieren.

Natürlich sind die lokalen Gemeindeverbände nicht die einzige Quelle der Kommunikation. Auch die RHK Kft., die durch das Atomgesetz für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle und abgebrannten Brennelemente bestellt wurde, informiert die lokale Bevölkerung über mehrere Kanäle, auch direkt über die Fortschritte der Projekte. Die wichtigsten Medien sind – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – im Folgenden aufgeführt:

- Besucherzentrum, Ausstellungsraum, Informationspark vor Ort;
- Informationsveranstaltungen in den Gemeinden (z.B. TETT-re Kész Nap, Tájéoló Nap);

- Publikationen über die Maßnahmen;
- Webseite der Gesellschaft ([www.rhk.hu](http://www.rhk.hu)); sowie
- in den Einrichtungen organisierte Tage der offenen Tür.

Die Meinung der in der gegebenen Region lebenden Bevölkerung wird alle zwei Jahre im Rahmen einer Umfrage bewertet, die ein wichtiges Feedback für die Kommunikation und im Allgemeinen für die Ausübung der Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Einrichtung ist. Die jüngsten Meinungsumfragen wurden in den Jahren 2011 und 2013 durchgeführt, deren Ergebnisse hinsichtlich der Erhebung in Bezug auf die Auswahl des Standortes des NRHT in Bátaapáti und des geologischen Tiefenlagers als Illustration auf den Abbildungen 23 und 24 dargestellt sind.

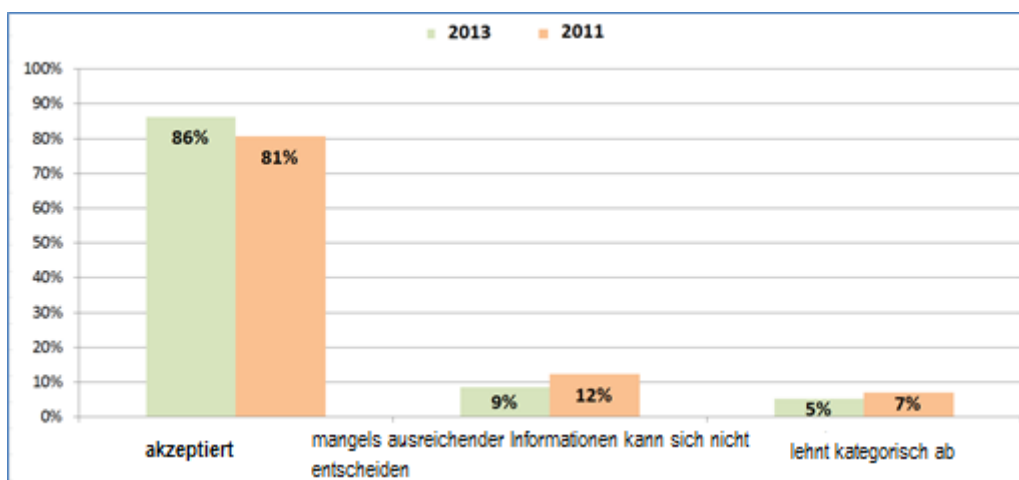


Abbildung 27: Akzeptanz des Standortes des NRHT in Bátaapáti

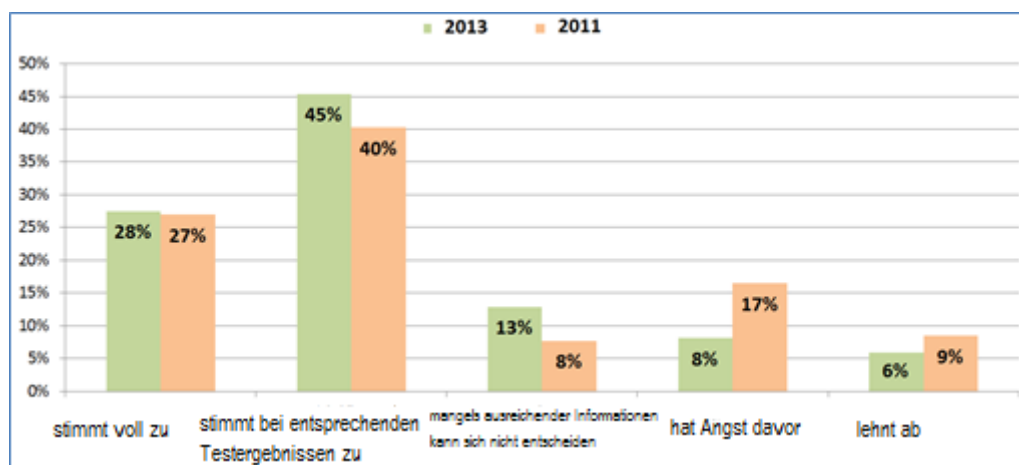


Abbildung 28: Verteilung der Antworten auf die Frage „Welche Gefühle haben Sie im Zusammenhang mit dem in der Region geplanten Abfalllager?“ in der Region der Erhebung in Bezug auf die Standortwahl des geologischen Tiefenlagers

Die Umfrageergebnisse zeigen deutlich, dass der Standort der NRHT-Anlage und die Standortwahl in der Region West-Mecsek von der Mehrheit der lokalen Einwohnern akzeptiert wird, im Vergleich zum Jahr 2011 zeigt sich ein leichter Anstieg bezüglich Akzeptanz.

Zusätzlich zur Umsetzung der Informationspolitik, die auf den Grundsätzen der Öffentlichkeit und Transparenz beruht und auch Fachfragen offenlegt, soll dafür gesorgt werden, dass die Öffentlichkeit auch an der Entscheidungsfindung teilnehmen kann. Die Bevölkerung kann im Zusammenhang mit den Maßnahmen des nationalen Programms an der Entscheidungsfindung bei Fragen, die in den Zuständigkeitsbereich der Umweltschutz- und nuklearen Aufsichtsbehörden fallen, im Rahmen der Rechtsvorschriften, durch die Institution der öffentlichen Anhörung teilnehmen.

Im Kapitel 12.1 wird die praktische Anwendung der oben beschriebenen Grundsätze – in Bezug auf die Information und die Beteiligung an dem Entscheidungsprozess der Öffentlichkeit – durch das Beispiel des NRHT dargelegt.

## **12.1 Beteiligung der Bevölkerung an der Auswahl, Errichtung des NRHT-Standortes**

Im Rahmen des Nationalen Projekts für die Entsorgung von schwach- und mittelaktiven Abfällen aus Atomkraftwerken wurde ein kombinierter Standortwahlprozess umgesetzt. Zuerst wurden – aufgrund der geologischen Gegebenheiten – 128 Standorte für oberirdische und 193 Standorte für unterirdische Lagerung vorgeschlagen. Die öffentliche Meinung wurde in den Standortwahlprozess dadurch einbezogen, dass mit allen Gemeindeverwaltungen der potenziellen geeigneten Standorte konsultiert wurde, ob sie die Fortsetzung der Forschung in ihrer Region unterstützen. Ca. 10% der Gemeindeverwaltungen beantworteten die Frage positiv, dementsprechend sank die Zahl der potenziellen Zielgebiete auf ein paar Dutzend. Durch die eingehende oberirdische geologische Exploration blieben vier Standorte in der letzten Phase der Standortwahl übrig, von denen der Standort in Bátaapáti gewählt wurde, daher hier begann die gründlichere Oberflächenexploration der aufnehmenden Granitformation.

Der Kommunalverband der Region, der TETT, wurde im Jahre 1997 mit dem Ziel gegründet, die aktuellsten Informationen im Zusammenhang mit der Entsorgung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen der Bevölkerung zur Verfügung zu stellen. Nachdem die eingehenden Explorationen die Eignung des Standortes Bátaapáti bestätigten, wurde im Jahr 2005 von der Gemeindevertretung von Bátaapáti eine Abstimmung in der Gemeinde veranlasst. An der Abstimmung nahmen 75% der Bevölkerung teil und 90,7% der Wähler waren damit einverstanden, dass in Bátaapáti ein Abfalllager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle gebaut wird.

Das zweistufige Genehmigungsverfahren der Umweltschutzbehörde begann im Jahre 2005. Aufgrund der verständlichen Zusammenfassung der im Rahmen des zweiten Genehmigungsschritts eingereichten Dokumentation zur Umweltfolgenabschätzung und -

prüfung wurde am 29. März 2007 in Bábaapáti eine öffentliche Anhörung von der regional zuständigen Umweltbehörde organisiert. Im Rahmen der öffentlichen Anhörungen konnten alle betroffenen Kunden ihre Bemerkungen zu den möglichen Auswirkungen des Abfalllagers auf die Umwelt äußern, die von der Umweltbehörde geprüft wurden. Gegen die erstinstanzliche Umweltgenehmigung, die als Ergebnis des Verfahrens erteilt wurde, legte der Energia Klub Beschwerde ein. Die erstinstanzliche Entscheidung wurde in der Entscheidung der zweitinstanzlichen Nationalen Aufsichtsbehörde für Umweltschutz, Naturschutz und Wasserwirtschaft vom 5. Oktober 2007 – durch genaue Angabe der betroffenen Grundstücknummer – bestätigt.

Nach der Auswahl des Standortes wurde die Information der Öffentlichkeit über mehrere Kanäle fortgesetzt. Die wichtigsten Medien sind der jährlich organisierte TETT-re Kész Nap [*Tag der Einsatzbereitschaft*], die TETT Hírlap [*Zeitung*], TETT Magazin Videozeitung, die regelmäßig herausgegebenen Informationspublikationen sowie die Webseiten von TETT und RHK Kft. Außerdem wurde im Jahr 2007 von TETT eine Überwachungsgruppe der Bevölkerung gegründet, die die Tätigkeit der RHK Kft. seit der Ankunft der ersten Fässer mit radioaktiven Abfällen im NRHT überwacht. An der Arbeit der Überwachungsgruppe nehmen 18 Personen aus 7 Mitgliedsgemeinden des Verbands teil. Die so zustande kommende Überwachung durch die Gesellschaft trägt wesentlich dazu bei, die in der Region lebenden Menschen glaubwürdig zu informieren und das Vertrauen zu erhöhen.

# 1 Anhang

## Eigenschaften und Menge der im Atomkraftwerk von Paks verwendeten Kassettentypen

Arbeitskassette	Generation 1					Generation 2	
Fabrik-Typ-ID	116	124	136	138	138205	142013	147010
Profiliert	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja
Anzahl der Gd-Stäbe [Stück]	0	0	0	0	0	3	6
Durchschnittliche Anreicherung [%]	1,6	2,4	3,6	3,82	3,82	4,2	4,7
Gewicht des Urans [kg]	120,2	120,2	120,2	120,2	120,2	126,3	126,3
Stab-Rasterabstand [mm]	1,22	1,22	1,22	1,22	1,23	1,23	1,23
Maximale Betriebszeit [Jahr]	4	4	4	5	5	5	5
Max. Ausbrennbarkeit [Mwnap/kgU]	49	49	49	49	50,5	54	58
Durchschnittliche tatsächliche Ausgebranntheit [Mwnap/kgU]	10,66	26,17	33,82	37,75	40,67	45,19	-

SZBV Kassette	Generation 1				Generation 2	
Fabrik-Typ-ID	216	224	236	238207	242014	247012
Profiliert	nein	nein	nein	ja	ja	ja
Anzahl der Gd-Stäbe [Stück]	0	0	0	0	3	6
Durchschnittliche Anreicherung [%]	1,6	2,4	3,6	3,82	4,2	4,7
Gewicht des Urans [kg]	112,5	112,5	112,5	112,5	120,3	120,3
Stab-Rasterabstand [mm]	1,22	1,22	1,22	1,23	1,23	1,23
Betriebszeit [Jahr]	4	4	4	4	5	5
Max. Ausbrennbarkeit [Mwnap/kgU]	49	49	49	50,5	54	58
Durchschnittliche tatsächliche Ausgebranntheit [Mwnap/kgU]	9,97	26,76	32,43	37,27	45,5	-



Anhang 1: Eigenschaften und Menge der im Atomkraftwerk von Paks verwendeten Kassettentypen

Arbeitskassette [Stück]		Lagerobjekt					
Fabrik-Typ-ID		Abfalllager für frische Brennelemente	Reaktor	Lagerbecken	Russland	KKÁT	Insgesamt
Generation 1	116	12	0	34	440	114	<b>600</b>
	124	24	0	37	478	763	<b>1302</b>
	136	0	0	26	1179	4672	<b>5877</b>
	138	0	12	163	1	1361	<b>1537</b>
	138205	0	246	1158	0	234	<b>1638</b>
Generation 2	142013	436	978	84	0	0	<b>1498</b>
	147010	0	12	0	0	0	<b>12</b>
Insgesamt:		<b>472</b>	<b>1248</b>	<b>1502</b>	<b>2098</b>	<b>7144</b>	<b>12464</b>
Follower Kassette [Stück]		Lagerobjekt					
Fabrik-Typ-ID		Abfalllager für frische Brennelemente	Reaktor	Lagerbecken	Russland	KKÁT	Insgesamt
Generation 1	216	5	0	13	53	18	<b>89</b>
	224	7	0	2	196	451	<b>656</b>
	236	0	0	34	18	434	<b>486</b>
	238	0	0	0	0	0	<b>0</b>
	238207	0	22	164	0	30	<b>216</b>
Generation 2	242014	45	126	18	1	0	<b>190</b>
	247012	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Insgesamt:		<b>57</b>	<b>148</b>	<b>231</b>	<b>268</b>	<b>933</b>	<b>1637</b>

Alle Brennstoffkassetten [Stück]		Lagerobjekt					
Typ	Anreicherung	Abfalllager für frische Brennelemente	Reaktor	Lagerbecken	Russland	KKÁT	Insgesamt
Generation 1	1,6	17	0	47	493	132	<b>689</b>
	2,4	31	0	39	674	1214	<b>1958</b>
	3,6	0	0	60	1197	5106	<b>6363</b>
	3,82	0	12	163	1	1361	<b>1537</b>
	3,82n*	0	268	1322	0	264	<b>1854</b>
Generation 2	4,20n*	481	1104	102	1	0	<b>1688</b>
	4,70n*	0	12	0	0	0	<b>12</b>
Insgesamt:		<b>529</b>	<b>1396</b>	<b>1733</b>	<b>2366</b>	<b>8077</b>	<b>14101</b>
Absorber [Stück]		Lagerobjekt					
		Abfalllager für frische Brennelemente	Reaktor	Lagerbecken	NAH Brunnen	KGYK	Insgesamt

Anhang 1: Eigenschaften und Menge der im Atomkraftwerk von Paks verwendeten Kassettentypen

	ente					
Insgesamt:	<b>51</b>	<b>148</b>	<b>108</b>	<b>528</b>	<b>2</b>	<b>837</b>

\*: der Buchstabe „n“ zeigt die Kassetten von erhöhtem Rasterabstand

## 2 Anhang

### Liste der von Ungarn geschlossenen internationalen Abkommen über die Behandlung der abgebrannten Brennelemente und der radioaktiven Abfälle

- [1] Übereinkommen zwischen der Arbeiter- und Bauernregierung der Ungarischen Volksrepublik und der Union der Sozialistischen Sowjetrepubliken über die Zusammenarbeit in der Errichtung von Atomkraftwerken in der Ungarischen Volksrepublik (28. Dezember 1966)
  - [1a] Regierungsverordnung 244/2004. (VIII. 25.) über die Verkündung des zwischen der Regierung der Republik Ungarn und der Regierung der Russischen Föderation unterzeichneten Protokolls über die Bedingungen des Rücktransports der in Russland hergestellten bestrahlten Brennstoffkassetten (abgebrannte Brennelemente) des Atomkraftwerks Paks in die Russische Föderation
  
- [2] Regierungsverordnung 204/2008. (VIII. 19.) über die Verkündung des zwischen der Regierung der Russischen Föderation und der Regierung der Republik Ungarn unterzeichneten Übereinkommens über die Zusammenarbeit im Zusammenhang mit dem Abtransport der abgebrannten Brennelemente des Forschungsreaktors in die Russische Föderation
  - [2a] Regierungsverordnung 179/2008. (VIII. 5.) über die Verkündung des Abkommens zwischen der Regierung der Republik Ungarn und der Regierung der Vereinigten Staaten von Amerika über die Unterstützung des Rücktransports der abgebrannten Brennelemente des Forschungsreaktors in die Russische Föderation und seine Finanzierung
  
- [3] Gesetz II aus dem Jahre 2014 über die Verkündung des Übereinkommens zwischen der Regierung von Ungarn und der Regierung der Russischen Föderation über die Zusammenarbeit hinsichtlich der Nutzung der Atomenergie für friedliche Zwecke