

# HAWC-Entsorgung der WAK – eine mit der VEK zu lösende Aufgabe

J. Fleisch, M. Weishaupt, WAK; G. Roth, S. Weisenburger, INE

## Einführung in das VEK-Projekt

Die Verglasungsanlage Karlsruhe (VEK) wird eine der nächsten Anlagen ihrer Art sein, die weltweit den heißen Betrieb aufnimmt. Sie ist konzipiert zur zwischen- und endlagergerechten Konditionierung der ca. 60 m<sup>3</sup> hochradioaktiver flüssiger HAWC-Lösung (High Active Waste Concentrate) mit einer Gesamtaktivität von  $7,7 \cdot 10^{17}$  Bq, die aus dem Betrieb der ehemaligen, zwischenzeitlich im Rückbau befindlichen Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK), hervorging. Weitere Rückbaumaßnahmen im HAWC-Lagerbereich sind abhängig von der vollständigen Entsorgung der HAWC-Lösung.

Hierzu wurde in den Jahren 2000 bis 2005 die Anlage VEK errichtet (siehe Abb. 1) und nach Durchführung aller Funktionstests inzwischen in einen betriebsbereiten Zustand überführt, so dass ein

Kalttestbetrieb der Gesamtanlage durchgeführt werden kann [1]. Die hierzu erforderliche Betriebsgenehmigung zur Verglasung von ca. 15 m<sup>3</sup> Simulat-Lösung liegt vor und wird derzeit mit der Installation von Provisorien für den Kalttestbetrieb und Demonstration der fernhantierten Instandhaltung in den heißen Zellen umgesetzt.

Im Projektbereich VEK, zuständig für das Projekt- und Qualitätsmanagement, wurden die Entwicklungen des Institutes für Nukleare Entsorgung (INE) zur Verglasungstechnologie einerseits und die nuklearen Betriebs- und Stilllegungserfahrungen der WAK Betriebsgesellschaft (WAK BGmbH) andererseits zusammengeführt, um in kurzen Planungs- und Genehmigungszeiträumen die notwendigen Voraussetzungen für Bau und Betrieb der Anlage zu schaffen. Diese Kooperation wird auch nach der Neustrukturierung des Projektes Stilllegung und Entsorgung der WAK (StiWAK) mit der

Inbetriebsetzung und dem heißen Betrieb der VEK fortgeführt, in dem das aus der Errichtungsphase erfahrene Personal in die Betriebsorganisation der WAK BGmbH eingebunden wird, um einen reibungslosen Übergang nach Fertigstellung der Anlage in den heißen Betrieb zu ermöglichen.

## Schutzziele und sicherheitstechnische Auslegung

Voraussetzung für Errichtung und Betrieb der VEK waren in allen Genehmigungsschritten Nachweise für die nach dem Stand der Wissenschaft und Technik erforderlichen Vorsorgemaßnahmen gegen Schäden für Personen und Umwelt. Das Vorgehen orientierte sich hierbei an den Schutzzielen

- sicherer Einschluss der radioaktiven Stoffe,
- Einhaltung der Unterkritikalität,
- sichere Abfuhr der Nachzerfallswärme,
- Begrenzung der Strahlenexposition zum Schutz der Bevölkerung, der Umgebung und des Betriebspersonals.

Neben der Einhaltung dieser übergeordneten Schutzziele waren mit dem VEK-Projekt weitere technische Herausforderungen zu lösen. So sollte das Prozessgebäude in unmittelbarer Nähe des HAWC-Lagers errichtet werden und die komplexe Prozesstechnik in einer Struktur von heißen Zellen zweckmäßig angeordnet werden. Gebäudestruktur und die prozesstechnische Einrichtungen waren derart auszulagern, dass auch Einwirkungen aus induzierten Erschütterungen nach

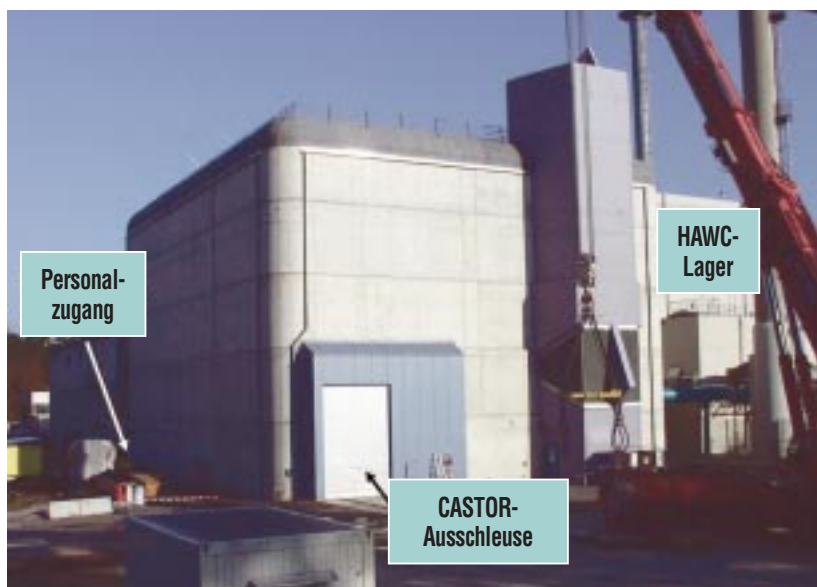


Abb. 1: Fertiggestelltes VEK-Prozessgebäude – Ansicht von Südwesten.

Erdbeben oder Flugzeugabsturz die jeweils erforderlichen Schutzfunktionen erhalten. Hinsichtlich des Verglasungsbetriebes sollte die Auslegung einen möglichst störungsfreien und sicheren Betrieb mit kurzen Betriebszeiten ermöglichen, wobei für die HAW-Glasgebäude spezifizierte Parameter für die Zwischen- und Endlagerfähigkeit einzuhalten sind.

Aus diesen Anforderungen resultiert eine sicherheitstechnische Auslegung der VEK mit folgenden Merkmalen [2]:

- Der Schutz der Bevölkerung wird durch Minimierung der radioaktiven Emissionen mit Erwartungswerten für die effektive Jahresdosis  $< 2 \mu\text{Sv}$  gewährleistet. Gleiches gilt für den

Schutz des Betriebspersonals durch eine weitgehend fernhantierte Prozessführung mit Erwartungswerten am ständigen Arbeitsplatz von  $< 4 \text{ mSv/a}$ .

- Anlage und Einrichtungen sind gegen Erdbeben bis zur Stärke 7/8 (Richterskala) geschützt. Der Erhalt der Funktionsfähigkeit von Einrichtungen und der Weiterbetrieb, ggf. nach einzelnen Reparaturen wurde nachgewiesen.
- Es besteht Penetrationsschutz des Gebäudes gegen den direkten Flugzeugtreffer (1,80 m / 2,10 m Wand/Deckenstärke). Die Integrität von radiologisch wichtigen Komponenten wie HAWC-Behälter, Schmelzofen, Zellenauskleidungen bleibt auch

nach diesem unterstellten Lastfall erhalten.

## Prozesstechnik und Gebäudestruktur

### VEK-Verglasungsprozess

Die Verglasungsanlage umfasst neben den Systemen des Hauptprozesses mit Lüftungsanlage, Medien- und Stromversorgung insgesamt 28 technische Systeme. Die folgenden im vereinfachten Fließbild der Abb. 2 dargestellten Systeme werden dem Hauptprozess der Verglasung zugeordnet:

- Das Übernahmesystem zur Förderung des HAWC aus den Lagerbehältern der LAVA, in die Übernahmebehälter der VEK.

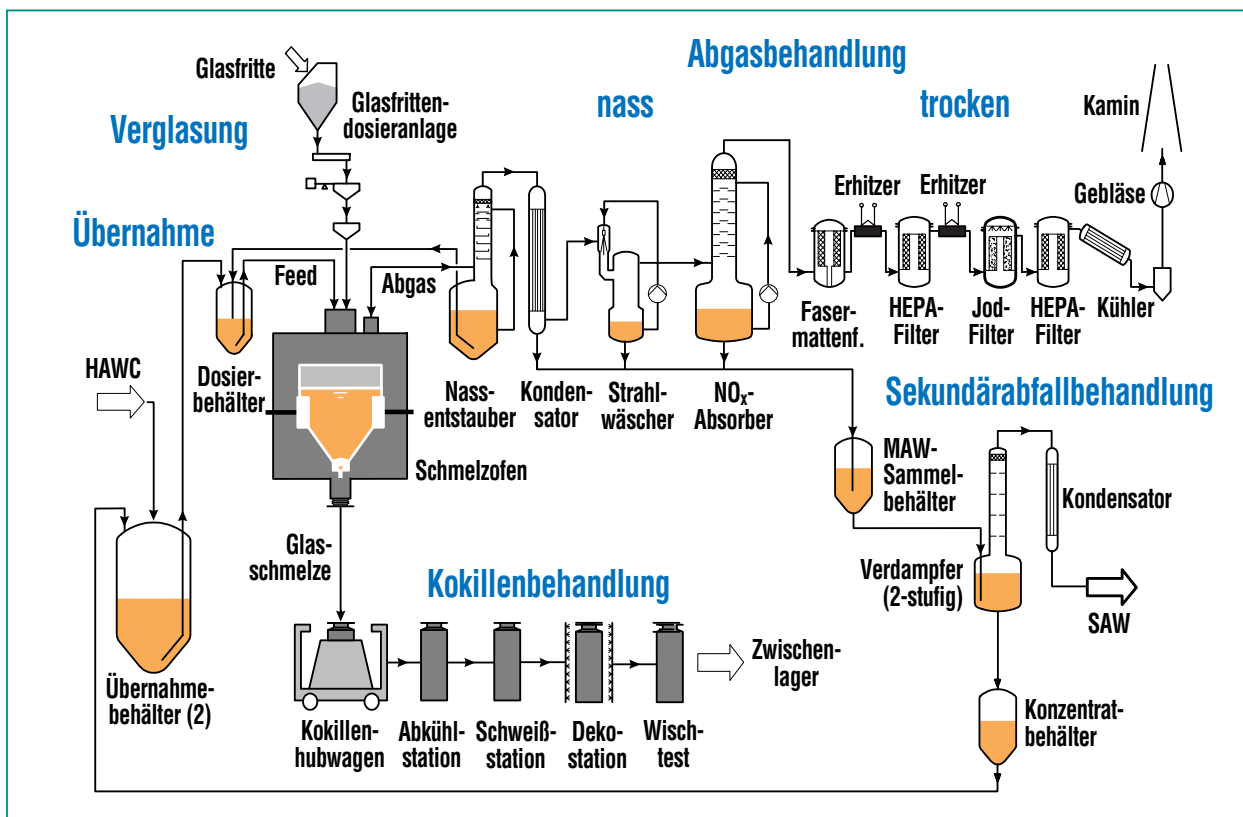


Abb. 2: Vereinfachtes Fließbild des VEK-Verglasungsprozesses.

- Das Verglasungssystem mit dem Schmelzofen und den Dosiereinrichtungen zur Zuführung von HAWC und Glasperlen in den Schmelzofen.
- Die Kokillenbehandlung mit den Einzelschritten der Abkühlung, des Aufschweißens des Kokillendeckels und der Dekontamination.
- Die nasse Abgasreinigung mit Waschkolonnen, einem Strahlwäscher und einem Kondensator.
- Die trockene Abgasreinigung (2-strängig) mit verschiedenen Stufen der Feinfiltration (Fasermattenfilter, HEPA-Filter, Jod-Filter).
- Die MAW-Behandlung mit Behältern zum Sammeln von MAW-Flüssigkeiten, Aufkonzentrierung in einer zweistufigen Verdampfungsanlage und Rückführung in den Prozess.

Die in der VEK angewandte Verglasungstechnologie basiert auf einem flüssig gespeisten elektrisch beheizten keramischen Schmelzofen mit einem Schmelzbadinhalt von 430 kg [3]. Die kontinuierliche Einspeisung der HAWC-Abfalllösung erfolgt mit einem Durchsatz von ca. 10 l/h aus einem Dosierbehälter über ein Airliftsystem. Die erforderlichen glasbildenden Stoffe werden in Form einer perlenförmigen Glasfritte über einer Dosierstation periodisch dem Schmelzofen zugeführt. Die Abfüllung des Produktglases in Edelstahlkokillen erfolgt über ein induktiv beheiztes Bodenauslaufsystem in Chargen von ca. 100 kg nach jeweils ca. 15 h. Zur Befüllung einer Kokille sind jeweils vier Chargen erforderlich.

### Anordnung der Prozesstechnik in Heißen Zellen

Die Abb. 3 zeigt die Anordnung der Systeme in den heißen Zellen

des Prozessgebäudes. Die prozesstechnischen Einrichtungen zur Übernahme des HAWC und der Konzentrierung der sekundären flüssigen Abfälle sind in der Übernahmezelle angeordnet. Für den Fall von möglichen Leckagen sind diese, wie auch die übrigen Zellen, mit entsprechenden Leckageauffang- und Beseitigungseinrichtungen ausgestattet.

Die Anordnung der Prozesskomponenten der Schmelzofenzelle sowie die fertig gestellte heiße Zelle sind in Abb. 4 dargestellt.

Über Gewichtsmessungen am Kokillenhubwagen werden bei der Glasabfüllung sowohl die Glasflussrate als auch das Gebindewicht kontrolliert und durch Sicherheitsabschaltungen eine Überfüllung der Kokille ausgeschlossen. Nach mehrtägiger Abkühlung der befüllten Kokille in der Kokillenbehandlungszelle erfolgen jeweils fernhandelt Verschweißung, Dekontamination und radiologische Vermessung im gleichen Zellenbereich. Für die Verschweißung kommt ein qualifiziertes Verfahren zum Einsatz, bei dem (ggf. in mehreren Lagen) ohne Zuführung von Schweißzusatzwerkstoffen der Kokillendeckel automatisiert mit dem Grundkörper dicht verschweißt wird. Zur Dekontamination der Gebindeoberfläche stehen ein mit Ultraschallgeneratoren ausgerüstetes Säurebad sowie ein Spülbad zur Verfügung (siehe Abb. 5).

Vor der Ausschleusung der HAWC-Abfallgebände in das anlageninterne Pufferlager (Kapazität 36 Glaskokillen), werden die Gebindeoberfläche auf Restkontamination sowie die Dosisleistungen ( $n$ ,  $\beta/\gamma$ ) im Hinblick auf Überein-

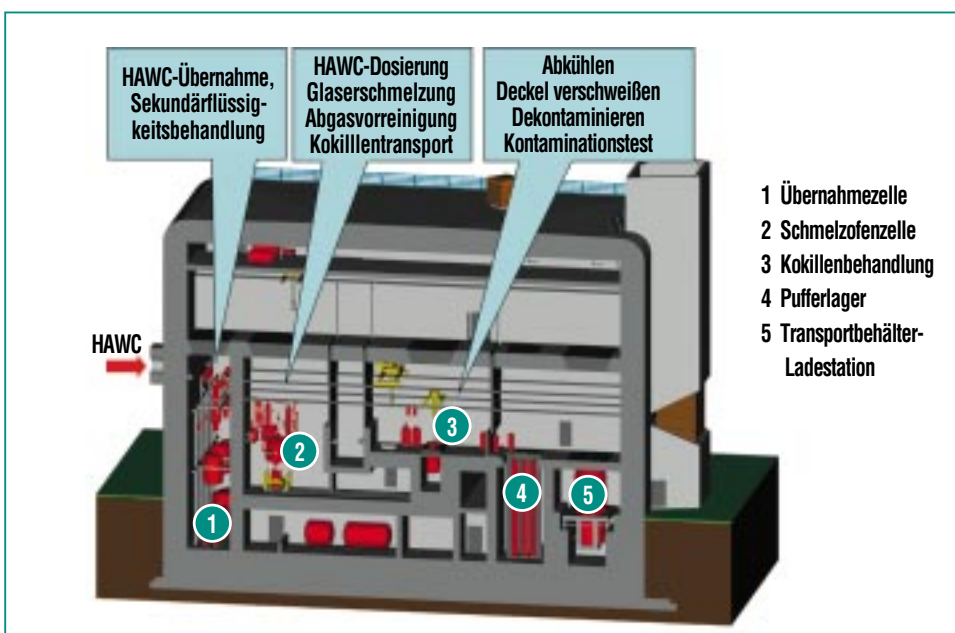


Abb. 3: Längsschnitt durch das VEK-Prozessgebäude – Anordnung der heißen Zellen und Funktionsbereiche.

stimmung mit den Produktdaten überprüft. Die Auslagerung der produzierten Glaskokillen erfolgt nach ca. zwei bis drei Monaten in der Transportbehälterladestation in CASTOR-Behälter.

## Inbetriebsetzung und Übergang zum heißen Betrieb

### Schritte der Inbetriebnahme

Die Inbetriebnahme der VEK erfolgt nach geprüften und freigegebenen Funktionsprüf- und Inbetriebnahmeprogrammen, jeweils getrennt für die einzelnen Systeme und abschließend im Verbundbetrieb. Folgende Schritte werden durchlaufen:

- Funktionsprüfungen der Einzelkomponenten (Armaturen, Ventile, Pumpen etc.)
- Funktionsprüfung von Baugruppen mit mehreren Komponenten (Probenahmeeinrichtungen, Fördereinrichtungen, Glasrittendosieranlage etc.)
- Funktionsprüfung an Systemen (SAW-Behandlung, Lüftungsanlage, Übernahmesystem, Schmelzsystem etc.).

Bei Funktionsprüfungen, die mit Flüssigtransfers verbunden sind, wird Wasser anstelle chemisch simulierter inaktiver Prozessflüssigkeit verwendet. Voraussetzung für die Inbetriebnahme von Systemen, ist die mängelfrei nachgewiesene Funktion der Einzelkomponenten und Baugruppen. Die Inbetriebnahme von Systemen dient auch zur Voreinstellung und Bestätigung wichtiger Betriebsparameter, dem Nachweis des Verbundbetriebs

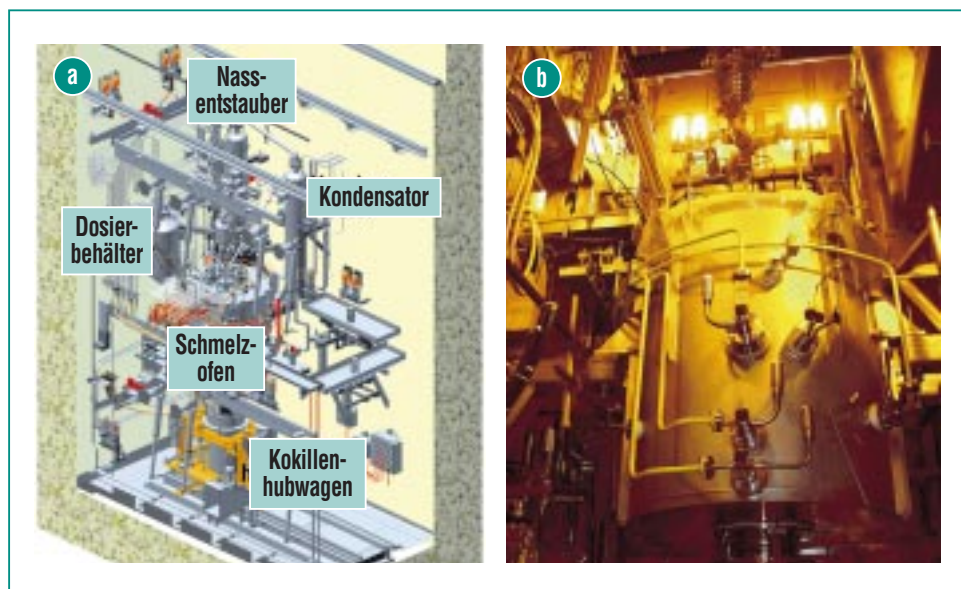


Abb. 4: a) 3-D-Ansicht der Schmelzofenzelle – b) Foto nach Montageende.

von Einzelkomponenten verschiedener Systeme und dem Nachweis der Prozessüberwachung über das Prozessleitsystem.

Eine Besonderheit stellt die Funktionsprüfung des Schmelzofens dar. Hierzu bedarf es bis auf wenige Prüfschritte der Inbetriebnahme des Schmelzofens, d. h. der Aufheizung auf 1000 °C mit Hilfe von SiC-Startheizelementen, die in den Schmelzofen eingesetzt werden. Nach Befüllung des Schmelzofens mit niedrig schmelzendem Startglas und der Inbetriebnahme der Joule'schen Beheizung erfolgen die restlichen Funktionsprüfungen, wie z. B. die Glasabfüllung.

### Kalttestbetrieb

Ziel des Kalttestbetriebes ist die Demonstration der vollen Funktionsfähigkeit der Anlage. Der Betrieb läuft in dieser Phase bereits weitgehend nach den Regularien und Bedienungsanweisungen des

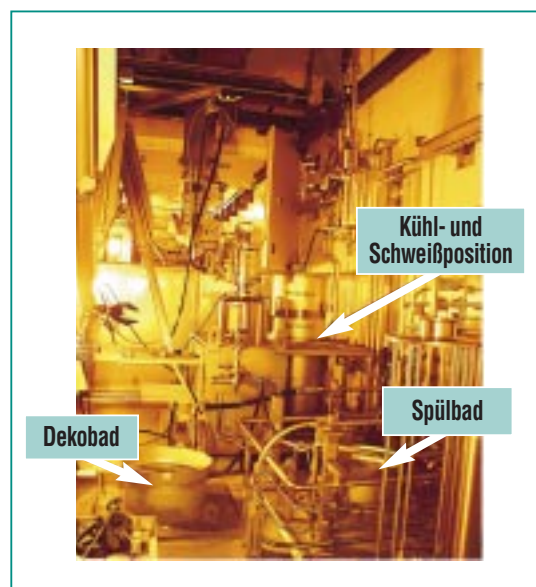


Abb. 5: Blick in die Kokillenbehandlungszelle.

heißen Betriebs ab. Wesentliche Unterschiede zum heißen Produktionsbetrieb bestehen darin, dass die HAWC-Leitung zum Tanklager noch verschlossen ist und ein HAWC-Simulat verglast wird, das über Provisorien in die Übernahmehälter der VEK eingespeist wird.

Der Kalttestbetrieb umfasst einen Zeitraum von mehreren Monaten, wobei ca. 15 m<sup>3</sup> HAWC-Simulat im 24-h-Schichtbetrieb verglast werden. Die dabei produzierte Glasmenge von über ca. 11 t wird in ca. 29 Kokillen abgefüllt. Der Betrieb der Anlage geschieht in Anlehnung an das chemische Fließbild mit einer Glasproduktionsrate von 7 kg/h.

### Heiße Inbetriebnahme

Nach Beendigung des Kalttestbetriebes werden alle Provisorien entfernt und nach Erteilung der zweiten Betriebsgenehmigung die heißen Anschlüsse zum HAWC-Lager (LAVA) hergestellt. Zur Durchführung der heißen Inbetriebnahme wird ein geringes Volumen von wenigen 100 l HAWC aus der LAVA in einen der Übernahmebehälter gefördert und dort mit HAWC-Simulat vermischt. Diese radioaktive Mischung wird analog zum Vorgehen beim Kalttestbetrieb verglast. Die Dauer der heißen Tests belaufen sich auf wenige Wochen. Nach Beendigung der heißen Inbetriebnahme kann dann der heiße Produktionsbetrieb mit der Übernahme der ersten Charge von ca. 1,6 m<sup>3</sup> HAWC und der nachfolgenden Verglasung beginnen.

Die Erzeugung spezifikationsgerechter Glaskokillen wird durch Einhaltung wesentlicher Prozess-

Parameter	Nominalwert	Garantiewert
Glasbeladung (Abfalloxide)	16 Gew.-%	≤ 19 Gew.-%
Gebindemasse	495 kg	≤ 550 kg
Gesamt- $\alpha$ -Aktivität	5,6 E13 Bq	≤ 8,6 E13 Bq
Gesamt- $\beta/\gamma$ -Aktivität	6 E15 Bq	≤ 9,6 E15 Bq
Uran-Menge	3977 g	≤ 7200 g
Plutonium-Menge	132 g	≤ 190 g
Wärmeleistung	520 W	≤ 734 W

**Tab. 1: Produktionsdaten und garantierte Kenngrößen der VEK-Glaskokille.**

parameter mit Hilfe des Prozessleitsystems sichergestellt. In Tab. 1 sind die Produktionsdaten mit wesentlichen Garantiewerten der HAW-Glaskokille im Vergleich zu den Nominalwerten dargestellt.

### Ausblick

Die VEK steht unmittelbar vor der Herstellung der Betriebsbereitschaft. Nach Abschluss der letzten Funktionsprüfungen am Schmelzsystem ist in Kürze das Aufheizen des Ofens und der nachfolgende kalte Verbundbetrieb vorgesehen. Die Anlage befindet sich danach im Stand-by-Zustand.

Die Erteilung der zweiten Teilbetriebsgenehmigung ist Voraussetzung für die Einrichtung der Kontroll- und Sicherungsbereiche. Die anschließende heiße Inbetriebset-

zung beginnt mit der Endmontage der Rohrleitungsverbindungen zwischen VEK und LAVA, dem Anschluss der Probenrohrpostleitung an die Hochaktiv-Boxen der LAVA und an die Behälterabgasleitung der LAVA sowie den Anschluss des VEK-Fortluftkanals an den LAVA-Kamin.

Organisatorisch steht eine durch die Funktionsprüfungen und die kalte Inbetriebsetzung geschulte gemeinsame Betriebsmannschaft der WAK BGmbH und des Forschungszentrums zur Verfügung. Bereits am Standort befinden sich die fünf CASTOR-Behälter, die zum späteren Abtransport der während des etwa einjährigen Betriebs der VEK produzierten ca. 130 HAW-Kokillen erforderlich sind.

### Literatur

- [1] G. Roth, S. Weisenburger, J. Fleisch, M. Weishaupt, „Process Technique and Safety Features of the German VEK-Vitrification Plant Currently under Commissioning“, *Proceedings of Global 2005, Tsukuba, Japan, October 9-13, 2005, Paper no. 296*
- [2] J. Fleisch, H. Kuttruf, G. Roth, S. Weisenburger, „Protection of Operators and Environment – The Safety Concept of the Karlsruhe Vitrification Plant VEK“, *Proceedings WM '02 Conference, Tucson (AZ), USA, February 24 – 28, 2002*
- [3] G. Roth, S. Weisenburger, „Verglasungstechnologie des Forschungszentrums Karlsruhe für hochradioaktive flüssige Abfälle“, *In: Radioaktivität und Kernenergie, Forschungszentrum Karlsruhe, 103-116, 2001, ISBN 3-92-3704-26-7*