

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

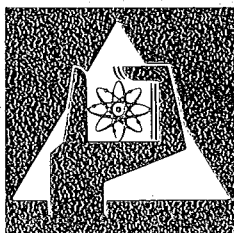
Juni 1976

KFK 2300

Abteilung Behandlung radioaktiver Abfälle
Abteilung Dekontaminationsbetriebe

**Die Verbrennungsanlage für radioaktive Abfälle des
Kernforschungszentrums Karlsruhe**

W. Bähr, W. Hempelmann, H. Krause



**GESELLSCHAFT
FÜR
KERNFORSCHUNG M.B.H.**

KARLSRUHE

Als Manuskript vervielfältigt

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.
KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

KFK - 2300

Abteilung Behandlung radioaktiver Abfälle (ABRA)
Abteilung Dekontaminationsbetriebe (ADB)

Die Verbrennungsanlage für radioaktive Abfälle
des Kernforschungszentrums Karlsruhe

von

W. Bähr

W. Hempelmann

H. Krause

Gesellschaft für Kernforschung mbH
Karlsruhe

Zusammenfassung

Im Frühjahr 1971 wurde im Kernforschungszentrum Karlsruhe eine Verbrennungsanlage für radioaktive Abfälle in Betrieb genommen. In dieser Anlage werden heute routinemäßig bis zu 100 kg brennbare radioaktive Festabfälle bzw. 40 l kontaminierte organische Lösungsmittel und Öle pro Stunde verbrannt.

Für diese Verbrennungsanlage wurde ein trockenes Abgasreinigungssystem entwickelt, bei dem die Rauchgase durch keramische Filterkerzen gereinigt werden. Nach der Filtrierung und Abkühlung der Rauchgase können diese direkt über einen Kamin abgeleitet werden. Die Aktivitätskonzentration in den Rauchgasen wird durch eine kontinuierlich arbeitende Meßanlage überwacht.

Die bei der Verbrennung anfallende Asche wird mit Zementbrei vermischt und in 200 l Fässer abgefüllt. Auf diese Weise entsteht aus 100 Fässern brennbaren Abfalls etwa ein Faß in Zement fixierte Asche.

In den ersten vier Betriebsjahren wurden in der Anlage mehr als 4000 m³ brennbare Festabfälle und über 60 m³ organische Lösungsmittel verbrannt. Über die Betriebserfahrungen wird berichtet.

Abstract

Incineration of Radioactive Wastes at the Nuclear Research Center Karlsruhe

In 1971 a large incineration plant started operation in the Nuclear Research Center Karlsruhe. This plant is serving for routine incineration of up to 100 kg of combustible radioactive solids or 40 l of contaminated organic liquids and oils per hour.

A dry off-gas cleaning system has been developed for this installation in which the fumes are cleaned by ceramic filter candles. After passing the filtering system and cooling, the off-gas is discharged directly through a stack.

The activity concentration in the off-gas is measured by a continuous monitoring system. The ashes arising from the incineration are mixed with cement grout and filled into 200 l-drums. By this way approximately one drum of fixed ashes results from 100 drums of combustible wastes.

During the first four years of operation, more than 4000 m³ of combustible solids and about 60 m³ organic solvents have been incinerated in the plant. The operating experiences are presented.

1. Einleitung

Im Jahre 1971 wurde im Kernforschungszentrum Karlsruhe eine Anlage zur Behandlung fester radioaktiver Abfälle (Ferab-Anlage) in Betrieb genommen. Ihre Aufgabe ist es radioaktive Festabfälle in ihrem Volumen soweit als möglich einzuengen und in eine für die Endlagerung geeignete Form zu überführen.

Die Ferab-Anlage gliedert sich in einen Bereich mit Einrichtungen zur Behandlung und Lagerung fester mittelaktiver sowie einen Bereich zur Behandlung (Einengung) schwachaktiver Abfälle. Der erste ist ein Heißer-Zellen-Block mit einer großen Lagerzelle, einer Be- und Entladezelle sowie einer Behandlungszelle. In diesem Teil der Anlage können mittel- bis hochaktive Festabfälle sortiert, zerkleinert, in Fässer eingefüllt, einbetoniert, zwischengelagert und für den Transport verpackt werden.

Im zweiten Bereich ist eine Veraschungsanlage für brennbare schwachaktive Festabfälle und organische Lösungsmittel untergebracht. Eine Paketierpresse für nichtbrennbare schwachaktive Festabfälle, eine Filterzerkleinerung sowie eine Faßreinigungsanlage sind ebenfalls in der Anlage vorhanden. Abbildung 1 zeigt die Ferab-Anlage kurz vor der Fertigstellung.

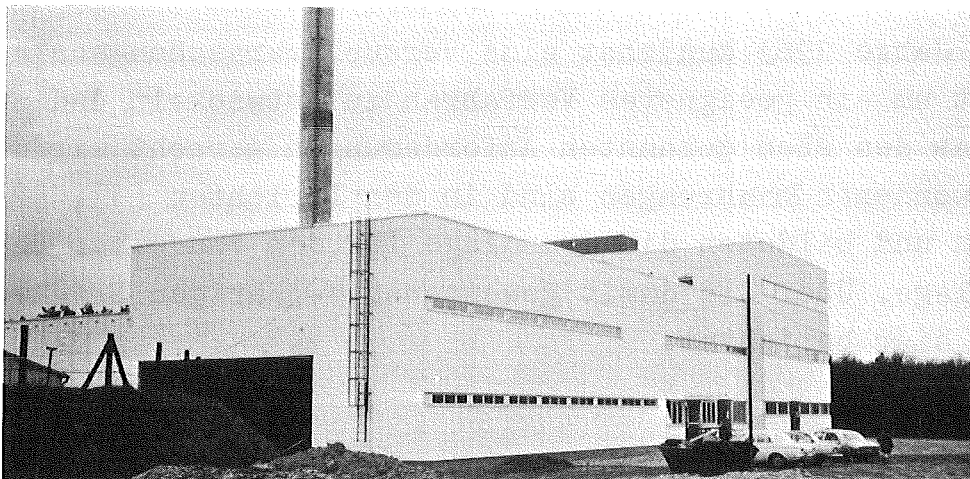


Abb. 1: Ferab-Anlage vor der Inbetriebnahme

2. Die Veraschung brennbarer Festabfälle

2.1 Allgemeine Betrachtungen

Die Veraschung brennbarer radioaktiver Abfälle verfolgt zwei Ziele, die Volumenverminderung und die Überführung der Rückstände in einen gut endlagerfähigen Zustand. Der erste Gesichtspunkt ist besonders bei großen Abfallmengen von Bedeutung. Abbildung 2 zeigt den Anfall an brennbaren Abfällen im Kernforschungszentrum Karlsruhe von 1966 bis 1974. Neben der Volumenverminderung führt die Veraschung auf einfache Weise zu gut lagerfähigen Endprodukten, indem man die Asche mit Zementbrei verrührt. Die Gefahr eines Brandes oder Faulprozesses in den Abfällen ist nach der Verbrennung naturgemäß vollkommen ausgeschaltet, die Radionuklide sind in der betonierten Asche fest gebunden.

Da die Verbrennung radioaktiver Abfälle im Vergleich zur konventionellen Müllverbrennung eine Reihe Besonderheiten aufweist wie

- die Notwendigkeit der Abscheidung auch der feinsten Stäube und Aerosole aus der Abluft,
- das kontaminationsfreie Einbringen der Abfälle und Ausschleusen der Asche,
- die Reparatur und Wartung unter aktiven Bedingungen,

wurde im Jahre 1963 zunächst eine Versuchsveraschungsanlage errichtet um ein geeignetes Verfahren zu entwickeln und zu testen das den eben genannten Anforderungen gerecht wird. Die dabei gewonnenen Erfahrungen sind in den Berichten [1], [2] beschrieben und bildeten die Grundlage für den Bau einer Betriebsanlage. Über die damit gewonnenen 4-jährigen Erfahrungen wird hier berichtet.

Anfall brennbarer radioaktiver Festabfälle im Kernforschungszentrum Karlsruhe

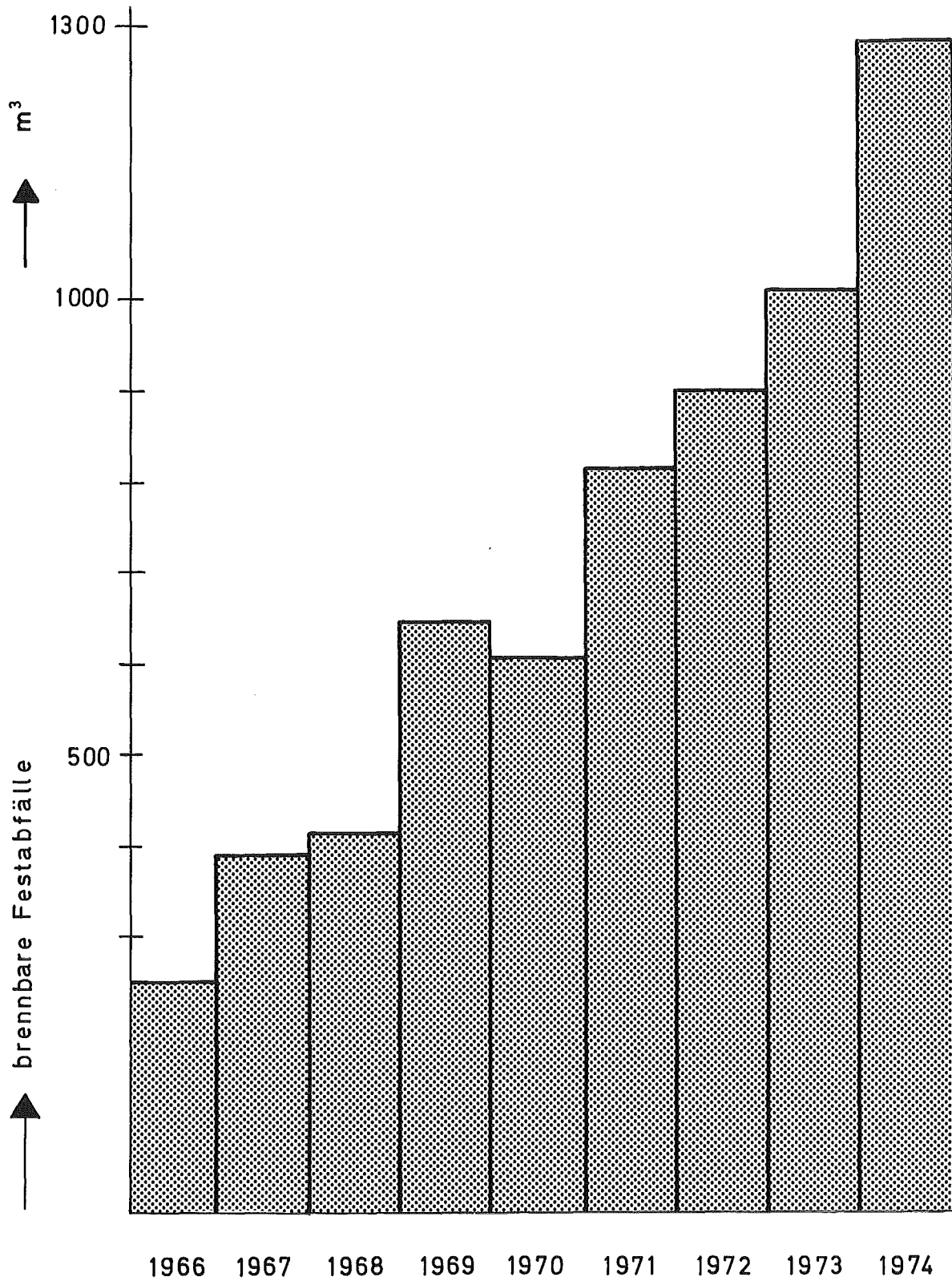


Abb. 2

Verbrennungsanlage Kernforschungszentrum Karlsruhe

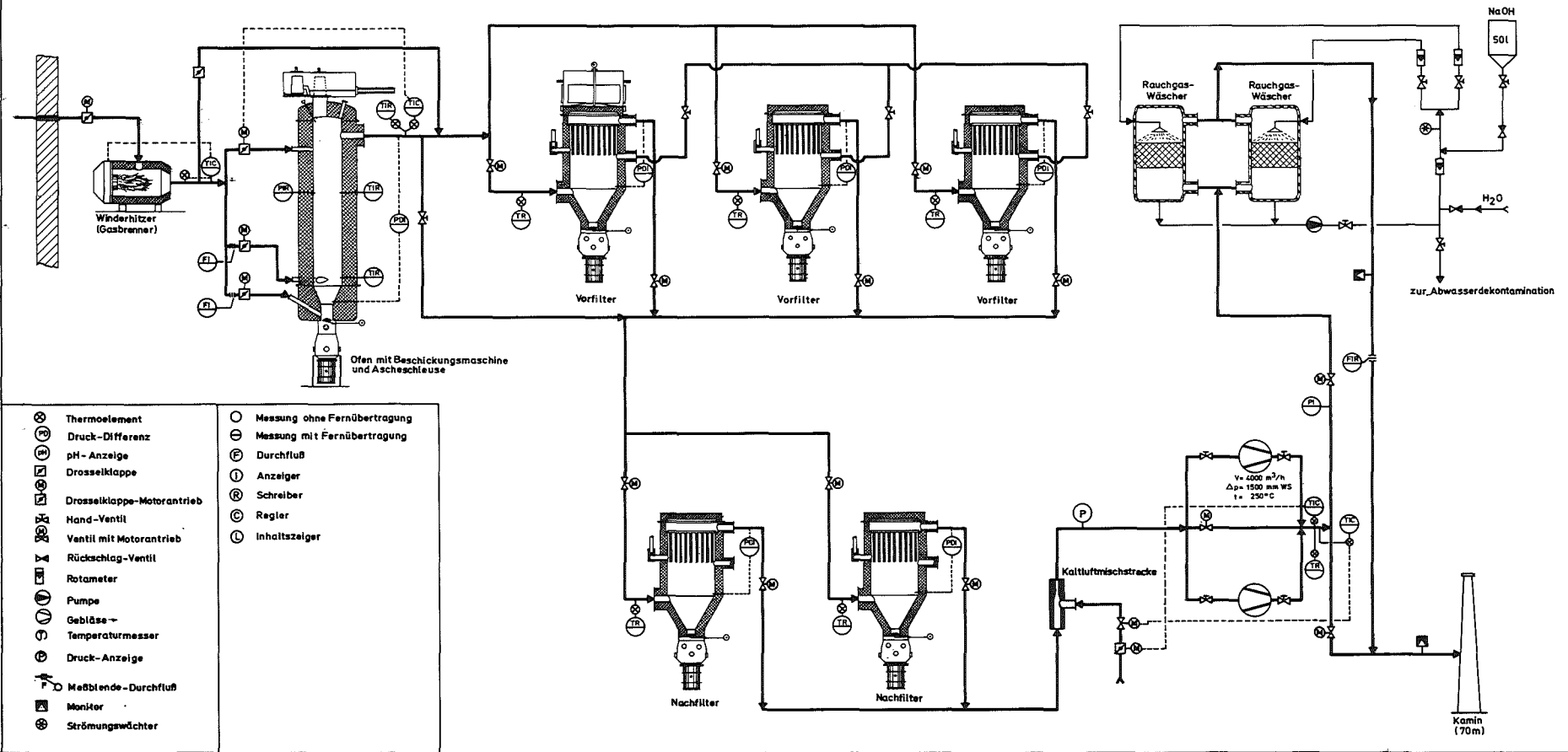


Abb. 3

2.2 Räumliche Anordnung der Anlage

Die Grundfläche des für die Veraschungsanlage benötigten Gebäudeteils beträgt 10 x 16 m. Im Erdgeschoß befindet sich ein Eingangslager, der Ascheaustrag, ein Lager für organische flüssige Abfälle sowie eine Anlage zum Waschen der entleerten Fässer. Im ersten Obergeschoß befinden sich die Nebenanlagen der Veraschung wie Filter, Gebläse, Winderhitzer und Rauchgaswäscher. Im 2. Obergeschoß ist die eigentliche Bedienungs-
bühne untergebracht. Von hier wird die Anlage beschickt und überwacht.

2.3 Aufbau der Veraschungsanlage

In Abbildung 3 ist das Fließ- und Apparateschema der Veraschungsanlage dargestellt. Das Kernstück der Anlage, der Veraschungsofen ist 6 m hoch und führt über 3 Geschosse. Der Außendurchmesser des Ofens beträgt 2 m. Die äußere zylindrische Stahlzarge ist in 3 durch Flansche verbundene Abschnitte unterteilt. Innen ist der Ofen mit einer feuerfesten vier-schichtigen keramischen Auskleidung versehen. Der innere zylindrische Teil hat einen Innendurchmesser von ungefähr 1 m und verjüngt sich nach unten hin konisch und geht schließlich wieder in einen zylindrischen Teil von ca. 400 mm Durchmesser über. Nach unten ist der Ofen durch eine kugelförmige Klappe verschlossen, die mit Hilfe eines gewichtsbelasteten Handhebels geöffnet werden kann. Daran fügt sich ein Zwischenschuß an, der durch eine zweigeteilte Klappe mit einer Handschuhbox verbunden ist. Unter die Handschuhbox kann ein Faß gasdicht angeflanscht werden in das die Asche ausgetragen wird. Das Faß ist mit 50 mm Blei abgeschirmt (Abb. 4).

Auf dem Ofen befindet sich eine als Schiebeschleuse ausgebildete Beschickungsvorrichtung. Direkt unterhalb des Ofendeckels ist der Rauchgasaustritt angebracht. Der Windeintritt in den Ofen erfolgt an 3 Stellen und zwar dicht über der unteren Abschlußklappe im Bereich oberhalb des Konus sowie in Höhe des Rauchgasaustrittes dicht unter dem Ofendeckel.

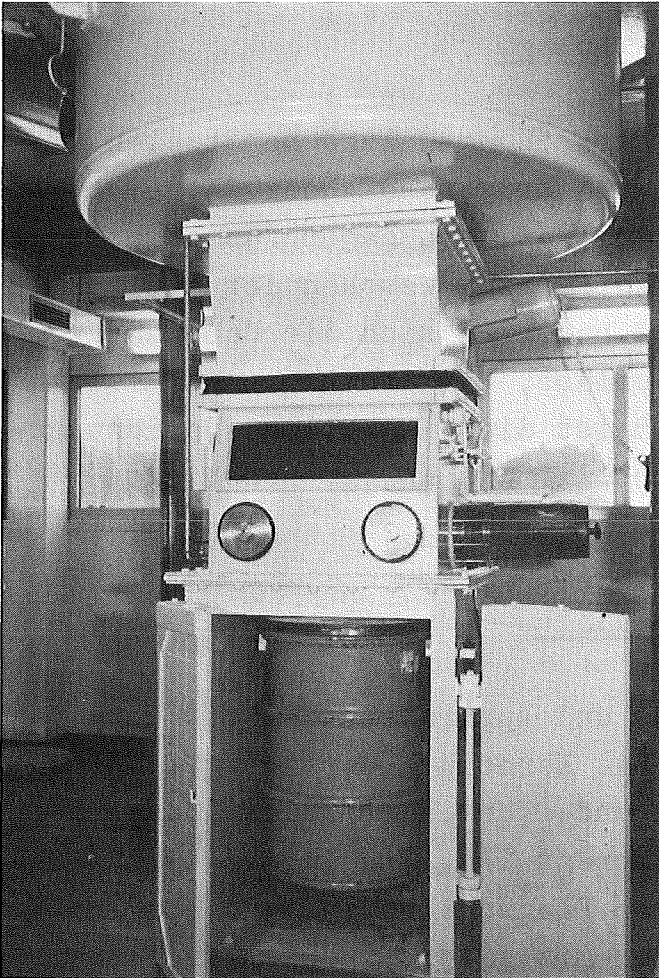


Abb. 4:

Ascheausschleuse mit
Faß und Bleiabschir-
mung

Durch feuerfest ausgemauerte Leitungen mit einem inneren Durchmesser von 200 mm ist der Ofen mit 3 parallel geschalteten Vorfiltern verbunden. Die Filtergehäuse selbst bestehen aus einer Stahlzarge mit ca. 1,8 m Durchmesser und einer Höhe von 3 m, die sich nach unten hin konisch verjüngen und ebenfalls feuerfest ausgemauert sind. Sowohl die Ausmauerung des Ofens als auch die der Leitungen und der Filtergehäuse ist bis zu 1600°C hitzebeständig. Alle Filtergehäuse sind mit einem abnehmbaren Deckel versehen (Abb. 5).

In dem Filtergehäuse liegt ca. 300 mm unterhalb des Deckels auf einem Absatz der Ausmauerung eine Stahlplatte mit einem Durchmesser von 1,2 m. In die Stahlplatte sind 91 Bohrungen angebracht in denen 91 keramische Filterelemente von 60 mm Durchmesser und 1000 mm Länge hängen (Abb. 6).

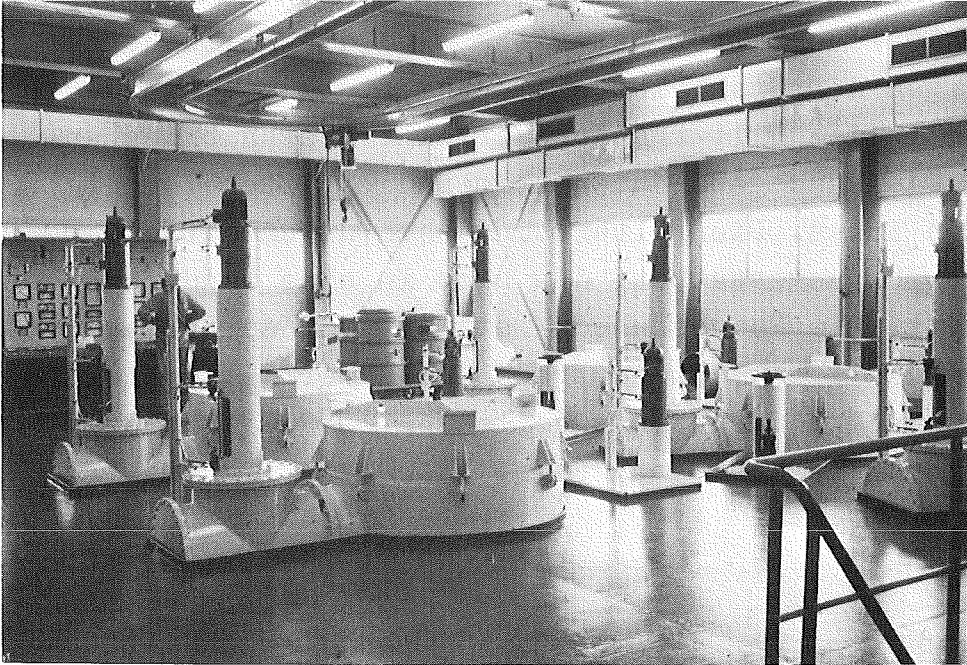


Abb. 5: Blick in die 3. Etage der Veraschungsanlage mit Filtergehäuse

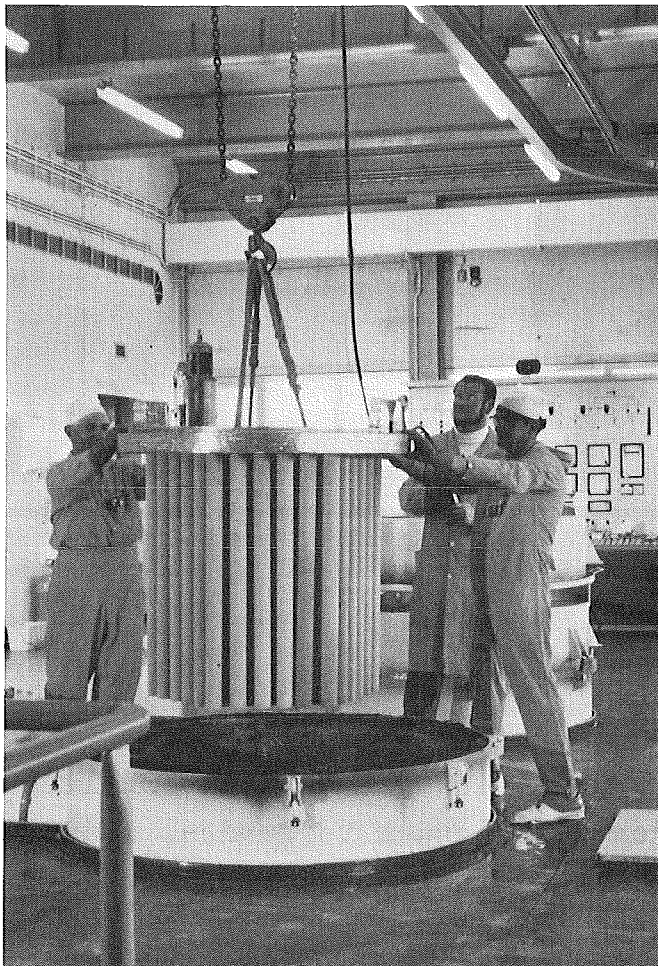


Abb. 6:

Einsetzen der Stahlplatte mit keramischen Filterkerzen in das Filtergehäuse

Mit Hilfe eines feuerfesten Materials sind die Filterkerzen in den Bohrungen der Stahlplatte eingedichtet. Der Eintritt der Rauchgase in die Filtergehäuse erfolgt oberhalb des unteren Konus. Die Rauchgase durchströmen die Filterelemente von außen nach innen. Die Filter sind nach unten mit einer konischen Klappe ausgestattet, die sich in eine Handschuhbox öffnen läßt. Die Handschuhbox ist fest mit der Filterkammer verbunden und dient zum Austragen defekter Filterelemente die direkt in ein darunter angeflansches 200 l-Rollreifenfass verpackt werden können (Abb. 7).

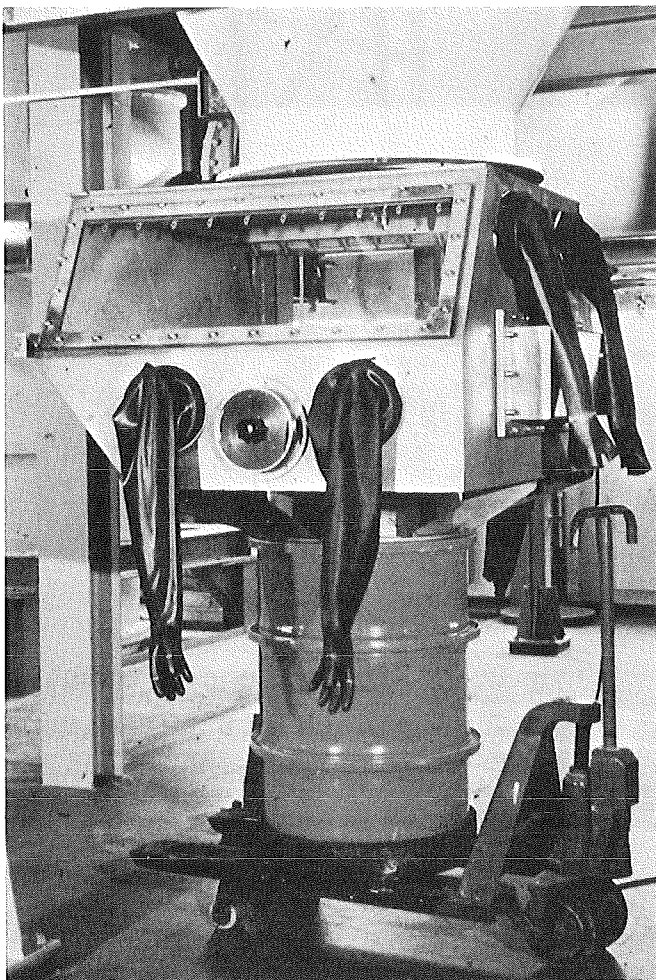


Abb. 7:

Filterkammer mit
Handschuhbox und
angeflanschem Faß

Über feuerfest ausgemauerte Bypassleitungen sind unterhalb der Filterplatte alle 3 Filter miteinander verbunden, sodaß der Verbrennungsofen zur direkten Vorwärmung der Filter

umgangen werden kann und auch das Vorwärmen eines anderen Filters während des Betriebes möglich ist. Sowohl der Verbrennungsofen als auch die Vorfilter sind mit Explosionsklappen versehen, die bei größeren Verpuffungen ansprechen sollen. An die 3 Vorfilter schließen sich über ausgemauerte Leitungen zwei ebenfalls parallel geschaltete Nachfilter an. In ihrem Aufbau gleichen sie den Vorfiltern. Die Nachfilter haben neben der Erhöhung des Filterabscheidegrades in erster Linie eine Sicherheitsfunktion zu erfüllen und sollen verhindern, daß bei einem Defekt in den Vorfiltern radioaktive Rauchgase in den Kamin entweichen.

Alle Ein- und Ausgänge der Filterkammern sind mit elektrohydraulisch gesteuerten Ventilen ausgestattet. Die Ventile sind konisch ausgebildet, sodaß sie auch bei Verunreinigungen der Ventilsitze noch ausreichend dicht sind.

Hinter den Nachfiltern wird dem heißen Rauchgas über eine Bypassleitung Frischluft zugeführt. Das entstehende Rauchgas-Luftgemisch wird von zwei als Radialventilatoren ausgebildeten Saugzuggebläsen mit einer Leistung von 3900 Betriebskubikmetern bei einem Δp von 1400 m Wassersäule in den Kamin gedrückt. Die Verbrennungsanlage wird jeweils nur mit einem Rauchgasgebläse einem Vorfilter und einem Nachfilter betrieben.

Alle anderen Aggregate sind Reserveeinheiten oder können während der Standzeit repariert werden. Wahlweise kann das Rauchgas hinter den Saugzuggebläsen noch über einen im Bypaß eingebauten Wäscher geleitet werden. Die Wäscher bestehen aus zwei parallel geschalteten Glaskolonnen, die mit Sattelfüllkörpern gefüllt sind. In den Wäschern oberhalb der Wasserzugabe ist zur Tropfchenabscheidung ein Demister eingebaut. Der Kamin der Verbrennungsanlage ist innen keramisch ausgekleidet und hat eine Gesamthöhe von 70 m.

2.4 Betrieb der Veraschungsanlage

Die brennbaren radioaktiven Abfälle werden mittels eines Gabelstaplers aus dem Lager für radioaktive Abfälle in die Anlage transportiert und zu je 4 Fässern auf einer Rollpalette über einen hydraulischen Aufzug zur Bedienungs-
bühne gebracht.

Zur Inbetriebnahme der Veraschungsanlage wird zunächst der Ofen durch elektrische Winderhitzer auf $400 - 500^{\circ}\text{C}$ vorgewärmt (Abb. 8).

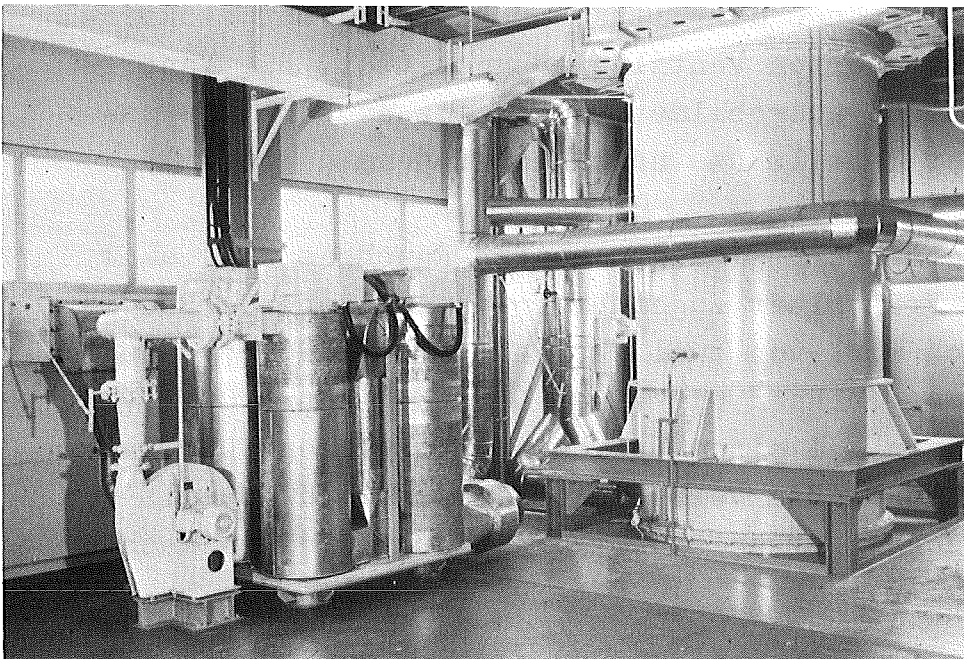


Abb. 8: Elektrische Winderhitzer

Durch Zugabe von leicht brennbaren Abfällen wird der Ofen langsam auf die erforderliche Betriebstemperatur von $1000-1200^{\circ}\text{C}$ und der Vorfilter auf 800 bis 900°C gebracht. Die Temperatur der Nachfilter stellt sich auf ca. 600°C ein. Jetzt ist der eigentliche Betriebszustand erreicht und die Zugabe brennbarer radioaktiver Abfälle kann erfolgen.

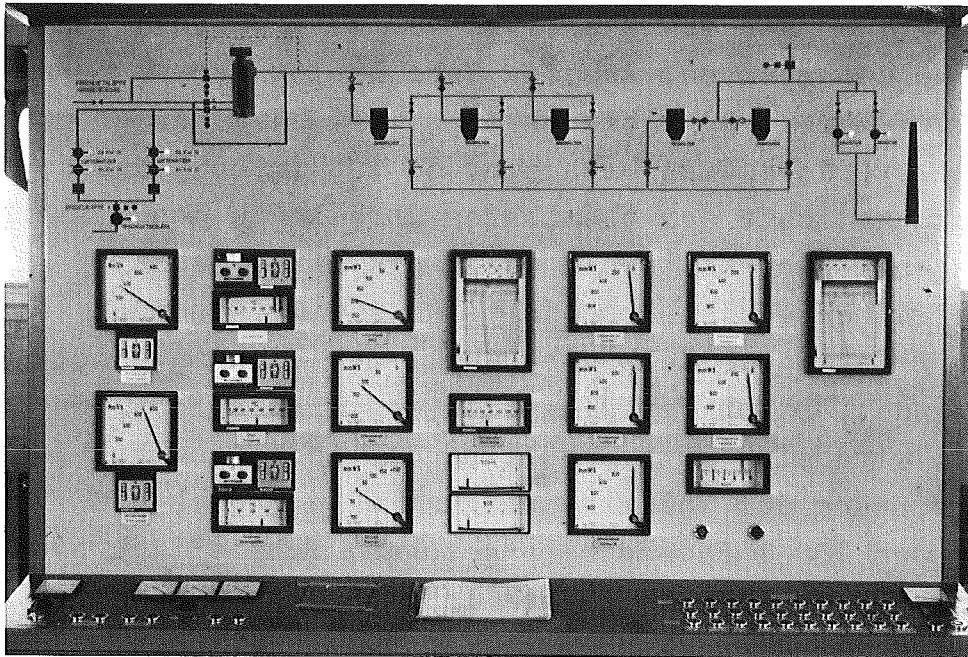


Abb. 10: Zentrales Schaltpult der Veraschungsanlage

2.5 Betriebserfahrungen

Seit Inbetriebnahme der Veraschungsanlage im Jahre 1971 ist die Verfügbarkeit der Anlage von Jahr zu Jahr gestiegen wie aus folgender Tabelle ersichtlich ist.

Tabelle 1: Betriebsdaten der Veraschungsanlage

Jahr	Durchsatz		Volumen- redukt. *	Leistung kg/h	Verfüg- barkeit o/o **
	Festabfälle to	Flüssigabfälle m ³			
1971	113,38	18	1 : 103	59,3	76,5
1972	109,22	18	1 : 80	55,0	82,2
1973	115,21	8,7	1 : 72	54,8	85,8
1974	152,48	11,0	1 : 55	69,2	91,5

* bezogen auf Festabfälle;

** Ist-Betriebsstunden
Soll-Betriebsstunden

Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, daß die bei Betriebsbeginn aufgetretenen Kinderkrankheiten der Anlage nach und nach behoben werden konnten. Aus der Tabelle ist ferner zu ersehen, daß der Volumenreduktionsfaktor seit 1971 geringer wurde. Dies hat verschiedene Ursachen. So ist im Lauf der Jahre die Packungsdichte der brennbaren Abfälle in den Fässern wesentlich angestiegen. Weiterhin wurde die Asche besser fixiert. So wird heute die Asche in einen 140 l fassenden aus Lochblech gefertigten Korb eingefüllt der sich in einem 200 l Faß befindet. Durch Verfüllen des restlichen Faßvolumens mit Zementbrei wird eine gute Umhüllung der Asche gewährleistet. Zur Berechnung der Volumeneinengung wird jedoch das volle Volumen des 200 l Fasses herangezogen. Schließlich sind die Mengen brennbarer Abfälle in den letzten Jahren so angestiegen, daß die Verbrennungsanlage vorwiegend auf hohen Durchsatz gefahren werden mußte und mit dieser Fahrweise zwangsläufig eine Verschlechterung des Ausbrandes verbunden ist. Bezeichnenderweise ist jedoch der Gewichtseinengungsfaktor der Anlage mit ca. 1:14 beinahe konstant geblieben.

2.6 Anlagekomponenten

Im folgenden soll über Erfahrungen mit einzelnen Komponenten der Anlage während des vierjährigen Betriebszeitraumes berichtet werden.

2.6.1 Rauchgasgebläse

Die Rauchgasgebläse waren anfangs zu schwach ausgelegt. Ein nach einem Betriebsjahr neu eingebautes stärkeres Gebläse mußte nach 1 1/2 Betriebsjahren vollständig ersetzt werden, da ein starker mechanischer Verschleiß festzustellen war. Anfang 1974 wurden schließlich zwei neue Saugzuggebläse eingebaut die sich hinsichtlich Leistung und Standzeit erheblich verbessert zeigten. Als Material für die Gebläseläufer wurde Normalstahl gewählt. Die Verwendung von Edelstählen hätte zu erheblichen Mehrkosten geführt. Wesentliche

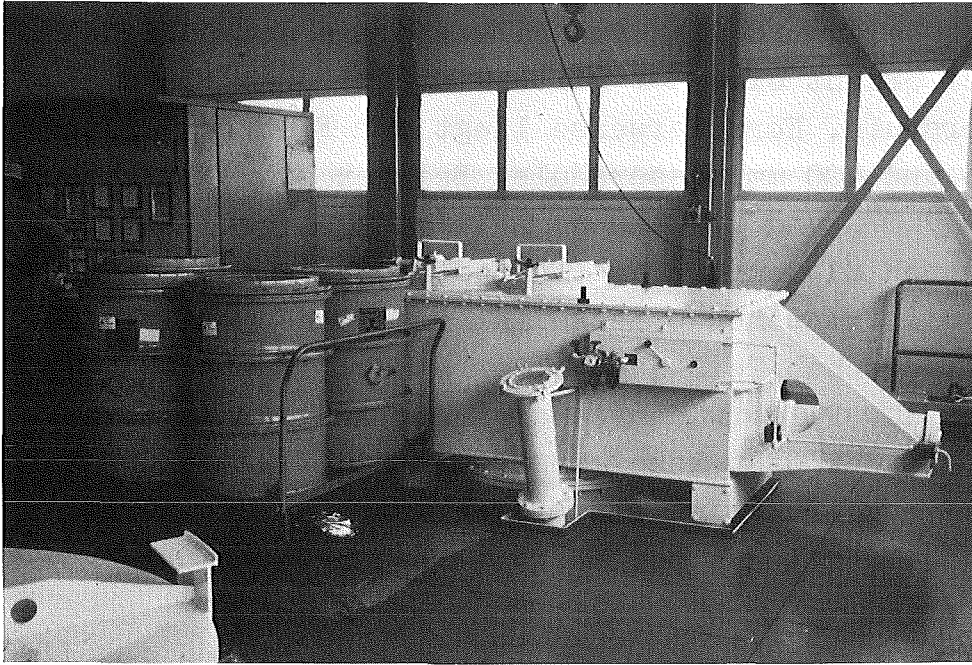


Abb. 9: Beschickungsschleuse des VeraschungsOfens

Während des Betriebes benötigt die Anlage keinerlei Stützfeuer bzw. Fremdenergie. In den Ofen werden die Abfälle diskontinuierlich über eine Beschickungsschleuse (Abb. 9) eingebracht, die mit Hilfe eines Preßluftzylinders geöffnet und geschlossen wird. Der Beschickungsrythmus wird durch direkte Beobachtung des Feuerraumes bzw. durch Kontrolle der Filterwiderstände bestimmt. Die gesamte Anlage wird mit Hilfe eines Saugzuggebläses während des Betriebes auf einen Unterdruck von 100 bis 150 mm Wassersäule gehalten. Die Regelung der Windmengen bzw. die Verteilung der Windmengen auf die einzelnen Windeintrittsöffnungen erfolgt über Drosselklappen per Hand. Lediglich die obere Windeintrittsöffnung wird über ein Thermoelement gesteuert.

Die Heizwerte der zu verbrennenden radioaktiven Abfälle liegen zwischen 2000 und 10.000 kcal/kg. Zeitweilig kommt es im Ofen zu einer unvollständigen Verbrennung. Die aus dem Ofen abgezogenen Rauchgase sind daher noch mit unvollkommen verbrannten

Bestandteilen beladen die an den Filterkerzen abgeschieden werden. Dabei erhöht sich der Filterwiderstand um bis zu 200 mm Wassersäule. Normalerweise liegt der Filterwiderstand zwischen 200 und 400 mm Wassersäule. Bei der Betriebstemperatur von über 700°C und bei Anwesenheit von genügend Sauerstoff verbrennen die unverbrannten Bestandteile auf den Filterflächen, die entstehende Asche fällt ab und sammelt sich im unteren, konischen Teil der Filterkammer. Innerhalb kurzer Zeit geht der Filterwiderstand wieder auf seinen Normalwert zurück und der Ofen kann erneut beschickt werden. Neben ihrer eigentlichen Funktion als Filter erfüllen die Kerzen somit auch die Funktion einer Nachverbrennungseinrichtung.

Nach mehr als tausend Betriebsstunden ist eine Zunahme des Filterkerzenwiderstands zu beobachten. Bei einem Bruch oder sonstigem Defekt einer Filterkerze sinkt sofort der Differenzdruck ab. Die Funktion der Nachverbrennung wird kurzzeitig von dem Nachfilter übernommen bis das defekte Vorfilter abgeriegelt und ein neues Vorfilter zugeschaltet ist.

Filterwiderstände, Temperatur und Unterdruckanzeige sind Meßwerte, die dem Operateur jederzeit ein Bild über den Betriebszustand der Anlage verschaffen. An einem übersichtlich angeordneten Schaltpult erfolgt die zentrale Kontrolle und Steuerung der Ofenanlage (Abb.10).

Nach dem Passieren des Nachfilters wird die Ofenabluft mit einer Temperatur von ca. $500-600^{\circ}\text{C}$ durch Zumischen von Frischluft auf ca. $230-250^{\circ}\text{C}$ abgekühlt. Die abgekühlten Ofenabgase werden schließlich durch das Saugzuggebläse in den Kamin gedrückt und nach dem Zumischen der Gebäudeabluft im Kamin mit einer Geschwindigkeit von $11,5$ m/sek am Kaminaustritt an die Umgebung abgegeben.

Teile der Rauchgasgebläse wurden als eine Art von Wegwerfgebläse ausgebildet. Die dem Verschleiß ausgesetzten Teile wurden so einfach und leicht auswechselbar konstruiert, daß eine Reparatur schnell und ohne größere Kosten durchführbar ist. Dieses Verfahren hat sich sehr gut bewährt. Das Auswechseln eines Gebläseläufers einschließlich der dazu erforderlichen Reinigungsarbeiten des Gebläsegehäuses kann in zwei Schichten durchgeführt werden. Während dieser Zeit kann die Anlage mit dem zweiten Gebläse betrieben werden.

2.6.2 Keramische Filterkerzen

Zur hohen Verfügbarkeit der Verbrennungsanlage hat wesentlich die Weiterentwicklung der keramischen Filterkerzen beigetragen. Zunächst wurde die Anlage mit Filterkerzen aus Schamotte ausgerüstet. Sie erreichten im Vorfilter eine Standzeit von nur ca. 150 und im Nachfilter von nur ca. 400 Betriebsstunden. Die Standzeiten lagen somit unterhalb der Standzeiten die mit den gleichen Filterkerzen in der Pilotanlage erreicht wurden. Als Ursache dafür mußte das geänderte strömungstechnische Verhalten in den Filtergehäusen selbst angesehen werden. Während in der Pilotanlage quadratische Filtergehäuse mit einem größeren Beruhigungsraum unter den Filterkerzen verwendet wurden, brachten die runden Filtergehäuse in der Betriebsanlage nicht den gewünschten Beruhigungsgrad der Rauchgase. Durch geringfügige Änderungen in den Filterkammern konnte jedoch das Anströmverhalten der Rauchgase an die Filterkerzen geändert und der Beruhigungsraum vergrößert werden.

Gleichzeitig wurden Versuche mit anderen Filtermaterialien gefahren. Versuche mit Porzellanfiltern zeigten sehr hohe Standzeiten. Wegen des sehr hohen Filterwiderstandes konnten sie jedoch auf die Dauer nicht verwendet werden. Eine wesentliche Verbesserung brachten Filterkerzen aus Siliziumkarbid. Die Standzeiten der Vorfilter konnten auf ca. 400 h und die der Nachfilter gar auf 1500 Betriebsstunden erhöht werden. Durch diese Verbesserung konnten auch die Betriebs-

kosten gesenkt werden. Während bei den zuerst eingesetzten Schamottenfilterkerzen Schäden durch Längsrisse auftraten brechen die jetzt verwendeten Siliciumkarbidfilterkerzen gelegentlich unterhalb der Filterhalteplatte ab. Der Grund hierfür ist sicherlich in der Dauerschwingungsbelastung der Filterkerzen zu suchen.

Die aus hitzebeständigem Stahl gefertigten Filterhalteplatten erlitten im Verlauf der Zeit Deformierungen, die auf dauernde Temperaturschwankungen zurückzuführen sind. Die Deformierung war deutlich am Durchhängen der Platte sichtbar. Die Filterkerzen hingen nicht mehr lotrecht in den Bohrungen und wurden unterhalb des Bundes einseitig belastet und rissen ab. Durch Verwendung hochhitzebeständiger Materialien für die Filterhalteplatten konnten diese Nachteile weitgehendst behoben werden.

Erfahrungsgemäß enthalten die Abfälle ca. 10 % PVC, sodaß bei der Verbrennung durchschnittlich 3-4 kg Salzsäure/Stunde produziert werden. Während die Salzsäure weder an der keramischen Ausmauerung noch an den Filterkerzen Korrosionsschäden verursachte, traten bei der Verbrennung organischer Lösungsmittel Schwierigkeiten auf.

Wie aus Tabelle 1 zu ersehen ist fallen neben den festen brennbaren Abfällen im Kernforschungszentrum Karlsruhe auch größere Mengen organischer Abfalllösungen verschiedenster chemischer Zusammensetzung an: Kontaminierte Öle, organische Lösungsmittel wie Ketone, Alkohole, Kohlenwasserstoffe und Extraktionsmittel wie Amine, Tributylphosphat (TBP) usw. Sie werden vermischt und in besonderen Kampagnen in der Anlage verbrannt.

Die Schwierigkeiten sind vor allem auf die Anwesenheit von TBP zurückzuführen. Bei Temperaturen von über 1000°C wird TBP pyrolytisch zersetzt. Das entstehende P_2O_5 führt zu Reaktionen mit der keramischen Auskleidung der Anlage wobei die Bildung einer glasähnlichen Schicht auf der Oberfläche zu beobachten ist. Auf den Filterkerzen führen Sublimate zu

Ablagerungen die innerhalb kurzer Zeit zur vollständigen Verstopfung der Filter führen (siehe Abb. 11). Diese Verstopfungen wurden in den 4 Betriebsjahren fünfmal festgestellt. Das Verbrennen TBP-haltiger Lösungsmittel in der Anlage ist daher nicht empfehlenswert.



Abb. 11: Verkrustete Filterkerzen durch Verbrennung TBP-haltiger Lösungsmittel

2.6.3 Keramische Auskleidung

In den ersten zwei Betriebsjahren mußte das eigentliche Verschleißstück des Ofens, nämlich der Konus im unteren Teil, jährlich erneuert werden. Um zu längeren Standzeiten für diesen Teil des Ofens zu kommen wurde schließlich die ursprüngliche Ausmauerung des Konus durch Formsteine aus Siliciumkarbid ersetzt. Diese Formsteine sind erheblich härter und hitzebeständiger. Die bisher erreichten Standzeiten lassen hoffen, daß die Reparaturintervalle ganz erheblich verlängert werden können.

Nach 4 Jahren wurde auch die Ausmauerung des oberen Teils des Ofens erneuert. Künftig soll die gesamte Ofenauskleidung durch eine Silicium-Karbid-Ausmauerung ersetzt werden. Bei diesen Reparaturarbeiten hat sich die Konstruktion des Ofens bestens bewährt. Der Ofen ist so ausgelegt, daß durch Entfernen der Ascheschleuse das Unterteil des Ofens in den Ascheaustragsraum abgelassen werden kann. Der Ascheaustragsraum ist als Interventionsraum ausgebildet, in dem der untere Teil des Ofens demontiert und neu ausgemauert werden kann. Diese Reparatur am Ofen kann innerhalb kurzer Zeit durchgeführt werden. Reparaturen an der Ausmauerung der Rohrleitungen waren bisher nur am Ofenausgang notwendig wobei ca. 6 m Rohrleitung ersetzt werden mußten.

2.6.4 Winderhitzer

Die ursprünglich eingebauten elektrischen Winderhitzer haben sich nicht bewährt. Die zur Vorwärmung der Anlage notwendige Erhitzung der Luft auf 500°C erfordern sehr hohe Wandtemperaturen der elektrischen Heizelemente, die sehr oft zu Defekten führten. Die elektrischen Winderhitzer sollen in Zukunft durch Propangas-Brenner ersetzt werden.

2.6.5 Ventil

Nach vierjährigem Betrieb zeigt sich, daß eine Erneuerung der Sitze der Rauchgasventile notwendig wird. Diese Reparaturen sollen nach und nach ohne Einschränkung des Betriebes durchgeführt werden.

2.7 Abgasreinigung und Aktivitätsabgabe

Wichtigste Forderung beim Betrieb einer Verbrennungsanlage für radioaktive Abfälle ist die Abgabe an radioaktiven Stoffen in die Umgebung auf ein Minimum zu reduzieren. Um sich ein besseres Bild über die Funktion der Anlage zu verschaffen und vor allem Aussagen über den Wirkungsgrad der Filter

machen zu können wurden verschiedene Untersuchungen und Aktivitätsmessungen angestellt.

Versuche ergaben beispielsweise, daß ca. 70 % der Radioaktivität in der Asche des Ofens vorgefunden werden. Über einen längeren Zeitraum wurden daher in der Asche Aktivitätsmessungen vorgenommen, die zeigten, daß die in der Veraschungsanlage verbrannten Abfälle im Mittel eine β -, γ -Aktivität von ca. 160 mCi/pro Tonne und eine α -Aktivität von ca. 45 mCi/pro Tonne aufweisen. Aufgrund dieser Untersuchungen läßt sich durch Extrapolieren die jährliche Gesamtaktivität der verbrannten radioaktiven Abfälle in etwa abschätzen (siehe Tabelle 2).

Tab. 2: Jährliche Gesamtmenge an α - und β -Aktivität im brennbaren radioaktiven Festabfall

Jahr	Durchsatz		α -Aktivität Ci	β -Aktivität Ci
	m ³	t		
1971	851,3	113,4	5,4	18
1972	735,3	109,2	5	17,4
1973	811,0	115,2	5,5	18,5
1974	989,6	152,5	7,5	25

Im Rahmen des Abluftplanes für das Kernforschungszentrum Karlsruhe wurden sehr strenge Maßstäbe für die Abgabe radioaktiver Stoffe an die Umgebung gefordert. So dürfen über die Abluft der Verbrennungsanlage nur insgesamt 0,001 Ci α - und 0,4 Ci β -Aktivität sowie 500 Ci Tritium im Jahr abgegeben werden. Die maximal zulässige monatliche Abgabe beträgt 1/10 der Jahresabgabe und entsprechend 1/10 der maximal zulässigen Monatsabgabe als maximal zulässige Tagesabgabe. Wie aus Tabelle 3 zu ersehen ist wurde seit Inbetriebnahme der Anlage

die Jahresmenge an α -Aktivität zweimal geringfügig überschritten, diese Überschreitungen im Rahmen des Gesamtabluftplanes des Kernforschungszentrums aber überhaupt nicht ins Gewicht fallen.

Zur Zeit liegt die tatsächlich abgegebene α -Aktivität etwa um den Faktor 5 und die abgegebene β -Aktivität um den Faktor 2 unterhalb der zulässigen Werte. Gelegentlich traten Schwierigkeiten in der Anlage beim Einhalten der zulässigen Tageswerte auf. Durch Einbau von Schwellwerten in die Abluft-Meßanlage wird verhindert, daß die zulässigen Tageswerte überschritten werden.

Wie aus Tabelle 3 weiter zu ersehen ist stiegen ab 1972 die spezifischen β -Aktivitäten im Rauchgas bezogen auf die durchgesetzten Abfallmengen merklich an, obwohl der Filterwirkungsgrad mit Inbetriebnahme der neuen Veraschungsanlage sich wesentlich verbessert hat. Dieser Anstieg ist auf das Vorhandensein großer Mengen flüchtiger Radionuklide in den brennbaren Abfällen zurückzuführen, die seit der Inbetriebnahme der Wiederaufarbeitungsanlage anfallen. Abfälle aus der Wiederaufarbeitungsanlage enthalten Spaltprodukte wie Ruthen und Caesium, deren Oxide bei hohen Temperaturen, wie sie bei der Verbrennung auftreten, flüchtig sind und so die β -Aktivität der Abluft erhöhen.

Spektroskopische Untersuchungen ergaben, daß sich die Abgasaktivität aus 95 % Ru¹⁰⁶ und ca. 5 % aus Cs¹³⁴, Cs¹³⁷ zusammensetzt. Aufgrund der gemessenen Daten über einen Untersuchungszeitraum von 4 Monaten läßt sich folgender Abscheidegrad der Anlage berechnen (Tab. 4).

Tabelle 3: Abgabe radioaktiver Stoffe über die Abluft der Verbrennungsanlage

Jahr	α -Aktivität mCi/a		β -Aktivität mCi/a		H_3 -Aktivität Ci/a		Abgabe von β -Aktivität pro t Durchsatz in mCi
	abgegeben	zulässig	abgegeben	zulässig	abgegeben	zulässig	
1971	1,2	0,8	32	400	-	800	0,274
1972	1,7	1	170	400	-	10	1,560
1973	0,27	1	100	400	159	500	0,870
1974	0,21	1	230	400	179	500	1,503

Tab. 4: Berechnung des Abscheidegrades für α - und β -Aktivitäten durch die Keramikfilter

Mess- zeitraum	Durchsatz t	α -Aktivität in mCi		β -Aktivität in mCi	
		im Abfall	in Abluft	im Abfall	in Abluft
1. Monat	12,48	165	0,0101	1217	7,92
2. Monat	7,30	430	0,007	1290	11,34
3. Monat	15,53	149	0,0053	2910	16,20
4. Monat	20,18	1945	0,0464	3470	31,90
	55,49	2689	0,0688	8887	67,36

Abscheidegrad μ für α - und β -Aktivität:

$$\mu_{\alpha} = 100 - \frac{0,0688 \cdot 10^2}{2689} = 99,997$$

$$\mu_{\beta} = 100 - \frac{67,36 \cdot 10^2}{8887} = 99,25$$

Eine weitere Verminderung der Abgabe radioaktiver Stoffe in die Umgebung hat der Einbau eines hinter den Rauchgasgebläsen geschalteten Naßwäschers gebracht.

Bei einem sechswöchigen Probetrieb mit diesem Rauchgaswäscher wurden folgende Ergebnisse erzielt (siehe Tab. 5).

Tab. 5: Berechnung des Abscheidegrades für β -Aktivität durch den Naßwäscher

Woche	Durchsatz t	Abwasseranfall im Wäscher m^3	Aktivität im Abwasser in mCi		β -Aktivität im Kamin in mCi
			β	H_3	
37	1,74	226	2,7	880	0,10
38	2,62	304	1,6	40	1,00
39	0,82	128	2,5	1000	0,13
40	3,72	448	2,8	120	0,15
41	4,07	685	5,5	700	0,46
42	2,78	300	1,3	190	0,03

Gesamt- β -Aktivität im Rauchgas vor dem Wäscher = 18,27 mCi
 Gesamt- β -Aktivität im Rauchgas nach dem Wäscher = 1,87 mCi
 Gesamt- β -Aktivität im Abwasser des Wäschers = 16,40 mCi

Abscheidegrad μ des Wäschers für β -Aktivität

$$\mu_{\beta} = 100 - \frac{16,4 \cdot 10^2}{18,3} = 10$$

2.8 Faßwaschanlage

Alle brennbaren und paketierbaren Festabfälle werden am Entstehungsort in Polyäthylenbeutel verpackt, die in 200 l Rollreifenfässer gesammelt und ins Zwischenlager oder in die FERAB-Anlage zur Behandlung transportiert werden.

Die entleerten 200 l Rollreifenfässer müssen, bevor sie erneut in den Umlauf gelangen, gereinigt bzw. dekontaminiert werden. Früher wurden diese Reinigungsarbeiten per Hand

durchgeführt. Um diesen Arbeitsgang zu automatisieren wurde in der FERAB-Anlage eine Faßwaschmaschine installiert in der pro Stunde 12 Fässer gereinigt werden können (Abbildung 12). Der Reinigungsprozeß verläuft über vier Arbeitsgänge in zwei Positionen.

In der ersten Position werden die Fässer mit Hilfe rotierender Bürsten und Waschlauge von 70°C, (normales Waschmittel) behandelt. An diesen Waschvorgang schließt sich eine Spülung mit heißem Wasser an. Bevor das Faß in die nächste Position wandert wird durch Luft die Hauptmenge des anhaftenden Wassers weggeblasen. In der zweiten Position erfolgt die Trocknung durch Heißluft. Bevor die Fässer die Anlage verlassen und zum internen Transport freigegeben werden, wird durch Wischteste geprüft, daß sie außen kontaminationsfrei sind.

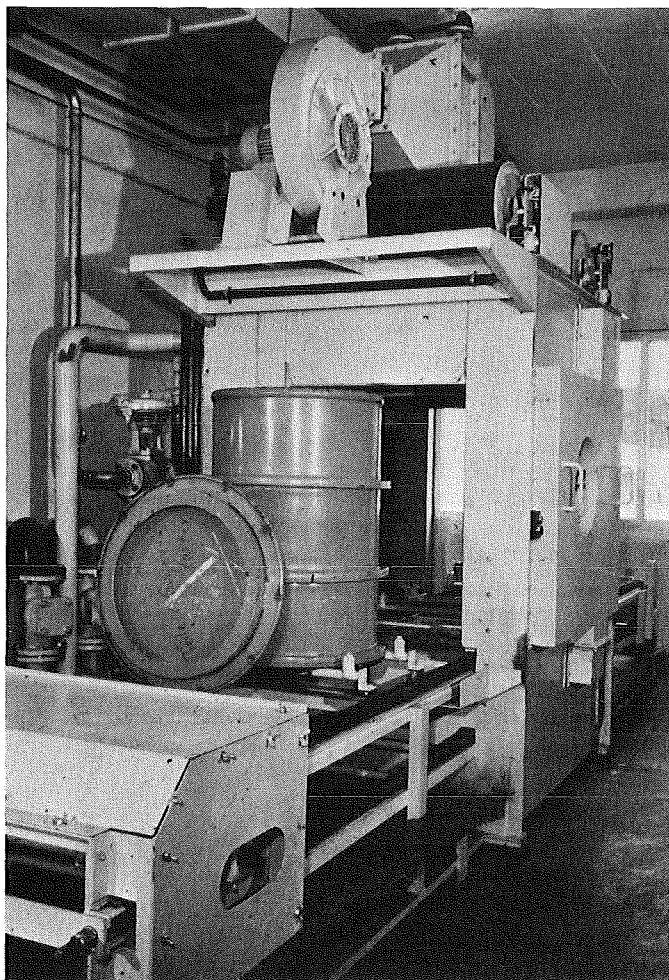


Abbildung 12:

Blick auf die
Faßmaschine

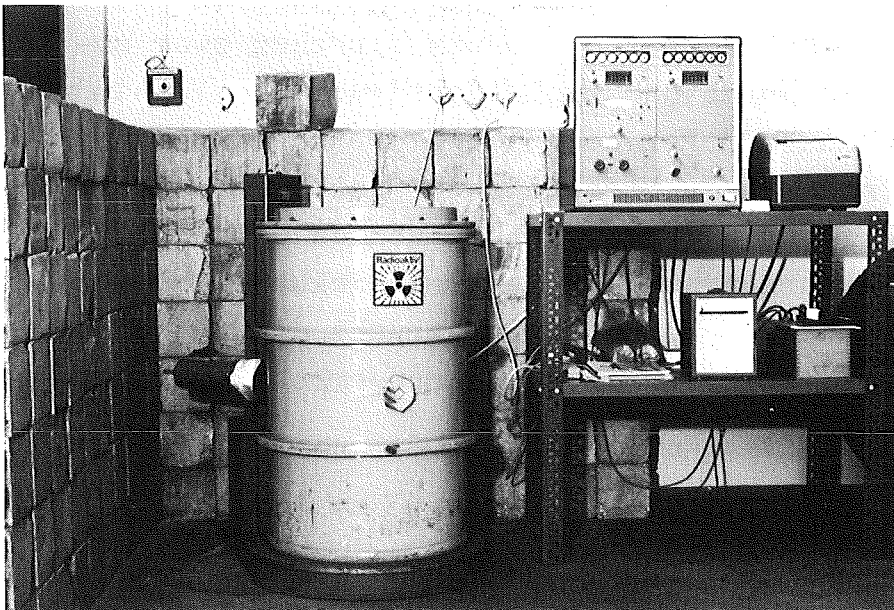
3. Betriebsstörungen

Während des vierjährigen Betriebes der Veraschungsanlage ereigneten sich bisher nur drei kleinere Zwischenfälle. In zwei Fällen kam es zu Verpuffungen in der Ascheaustragsschleuse. Beide waren auf die Entzündung brennbarer Schwelgase im Kontakt mit heißer Asche zurückzuführen, die sich beim Anfahren der Anlage gebildet und in der Ascheaustragsbox angesammelt hatten. Durch bessere Durchlüftung der Ascheaustragsbox wurde dafür Sorge getragen, daß keine weiteren Verpuffungen dieser Art mehr auftraten. Außerdem wurde die Ascheaustragsbox zusätzlich mit Explosionsklappen ausgestattet. Bei beiden Zwischenfällen sind weder Personen- noch Sachschäden aufgetreten, sodaß der Betrieb nach kurzer Unterbrechung wieder aufgenommen werden konnte.

Eine Verpuffung etwas größeren Ausmaßes trat im Jahre 1973 in der Beschickungsschleuse auf. Dieser Zwischenfall war auf die nicht vorschriftsmäßige Abgabe organischen Lösungsmittels zurückzuführen. In einem Pappkarton wurde eine 10 l Glasflasche mit leicht brennbarem, organischem Lösungsmittel angeliefert, die als solche von außen nicht erkennbar war. Beim Befüllen des Ofens trat in der Beschickungsschleuse eine heftige Verpuffung auf, die zur Deformation der Deckel der Ascheschleuse führten. Die Explosionsklappen des Ofens sprachen zwar sofort an, doch wurden durch den Explosionsdruck die Verbindungsschläuche zu dem Funkenfänger beschädigt. Personenschäden traten auch hier nicht auf. Nach Dekontaminationsarbeiten von 2 Wochen konnte der Betrieb wieder aufgenommen werden. Aus Sicherheitsgründen wurden auch an der Beschickungsschleuse eine großflächige Explosionsklappe angebracht und außerdem die Vorschriften für Verpackung und Abgabe erheblich verschärft.

3.1 Verbrennung von α -haltigen Abfällen

Vor Inbetriebnahme der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe war eine Unterscheidung von nur α -haltigen Abfällen und den β -, γ -haltigen Abfällen einfach. In dieser Zeit wurden auch α -haltige Abfälle zwischen 10 und 20 mg Pu pro 200 l Faß in der Anlage verbrannt. Die Ermittlung des Pu-Gehaltes in den Fässern erfolgte durch direkte Messung der 50 und 380 KeV-Linie des Pu-239 mit einer speziellen Faßmeßanlage (Abb. 13). Durch die Übernahme der brennbaren Abfälle aus der Wiederaufarbeitungsanlage wurde eine Bestimmung des Plutoniums wegen der Spaltprodukte mit dem bisher angewendeten Meßverfahren nicht mehr möglich. Da die Verbrennungsanlage nicht für α -haltige Abfälle konzipiert war, kam es gelegentlich bei der Veraschung von Abfällen aus der Wiederaufarbeitungsanlage zu Plutoniumkontaminationen. Zur Vermeidung ähnlicher Kontaminationen wurden daher zunächst nur noch Abfälle aus Bereichen der Wiederaufarbeitungsanlage verbrannt deren Pu-Gehalt mit Sicherheit unterhalb 20 mg/200 l-Faß liegen. Durch Umrüstung einzelner Anlagekomponenten wie Filterkammern oder Beschickungsschleuse auf α -Technik läßt sich die Anlage sicherlich im Hinblick auf Verbrennung von Abfällen mit etwas höheren Pu-Gehalten noch verbessern.



Literatur

- [1] W. Hempelmann, H. Krause
Behandlung der festen radioaktiven Abfälle im Kern-
forschungszentrum Karlsruhe
Chemie-Ingenieur-Technik 42. Jahrg. 1970/Nr. 9/10
- [2] W. Bähr, W. Hempelmann, H. Krause, O. Nentwich
Experiences in the Treatment of Low- und Intermediate-
Level Radioactive Wastes in the Nuclear Research Center,
Karlsruhe, Management of Low- and Intermediate-Level
Radioactive Wastes.
Proceedings: Aix-en-Provence, 7-11 Sept. 1970
Vienna: IAEA (1970), S. 461-84, SM-137/12