

KfK 5105 B
September 1993

**Ergebnisse der
Inkorporationsüberwachung
durch Ausscheidungsanalysen
im Kernforschungszentrum
Karlsruhe in den Jahren
1985 bis 1992**

H. Schieferdecker
Medizinische Abteilung

Kernforschungszentrum Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Medizinische Abteilung

KfK 5105 B

**Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung durch Ausscheidungsanalysen
im Kernforschungszentrum Karlsruhe in den Jahren 1985 bis 1992**

Horst Schieferdecker

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE GMBH, KARLSRUHE

Als Manuskript gedruckt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 3640, 76021 Karlsruhe

ISSN 0303-4003

Zusammenfassung

Das Konzept der Inkorporationsüberwachung auf Plutonium wird mit seinen Veränderungen im Verlauf des Berichtszeitraums beschrieben. Die Ergebnisse werden in Form einer statistischen Erfassung der ausgeführten Ausscheidungsanalysen dargestellt und bei Messungen aus besonderem Anlaß individuell interpretiert. Die benutzten Analyseverfahren und deren Qualitätskontrolle werden beschrieben.

Abstract

Results of Incorporation Monitoring by Excretion Analyses Performed at the Karlsruhe Nuclear Research Center during the Years 1985 until 1992

The incorporation monitoring program for plutonium at the Karlsruhe Nuclear Research Center and its improvements and changes during the period under review are described. The results of the excretion analyses are summarized in a statistical form and the results of special measurements are given individually. The analytical methods and the quality control measures are described.

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Aufgaben des Toxikologischen Labors	01
2. Inkorporationsüberwachung auf Transuran-Elemente (Pu,Am,Cm,Cf)	01
2.1. Gesetzliche Grundlagen	01
2.2. Überwachungsverfahren	02
2.3. Ausscheidungsmessungen	06
2.3.1. Urinalysen	06
2.3.2. Stuhlanalysen	07
3. Durchführung und Qualitätskontrolle der Analysen	07
3.1. Arbeitsvorschriften	08
3.2. Bestimmung der chemischen Ausbeute	09
3.3. Nachweisgrenze des Analysen-Verfahrens	10
3.4. Kontrolle der Kontaminationsfreiheit der benutzten Geräte	12
3.5. Fehler- und Nuklidangabe	13
3.6. Teilnahme an Vergleichsanalysen	13
4. Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung	13
4.1. Regelmäßige Inkorporationsüberwachung	14
4.2. Messungen aus besonderem Anlaß	15
4.3. Dosisbestimmung bei Messungen aus besonderem Anlaß	17
4.4. Ermittlung der Berufslebensdosis	18
5. Literatur	18
Verzeichnis der Anhänge	21
Anhang 1: Statistik der Gesamtanalysen in den Jahren 1985 bis 1992	22
Anhang 2: Häufigkeit der Gesamtanalysen in den Jahren 1985 bis 1992	25
Anhang 3: Verteilung der in den Jahren 1985 bis 1992 aus besonderem Anlaß ausgeführten Analysen	35
Anhang 4: Verzeichnis der benutzten Abkürzungen	40
Anhang 5: Beschreibung der Analysenverfahren	42
Anhang 6: Formblatt z. Dosisermittlung bei Messungen aus besond. Anlaß	45

1. Aufgaben des Toxikologischen Labors

Im Toxikologischen Labor der Medizinischen Abteilung des Kernforschungszentrums (KfK) werden aufgrund behördlicher Anordnungen Ausscheidungsanalysen zur Inkorporationsüberwachung von Personen im KfK und anderen Institutionen ausgeführt. Sie haben das Ziel, bei Personen, die Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen haben, eine unzulässige Zufuhr dieser Stoffe und damit eine Überschreitung von Grenzwerten der Körperdosis zu erkennen und die Einhaltung derjenigen Schutzmaßnahmen zu überwachen, mit denen eine solche Zufuhr vermieden werden kann.

Diese Überwachung beschränkt sich auf die Radionuklide, die mit anderen Methoden (Direktmessung der emittierten Strahlung im Ganzkörperzähler) nicht erkannt werden können, weil deren Strahlung im Körper absorbiert wird. Dies sind alphastrahlende Radionuklide (wie Uran, Thorium, Plutonium, Americium, Curium, Californium, Neptunium) und Radionuklide mit einer weichen beta-Strahlung (wie Tritium, Kohlenstoff-14, Schwefel-35).

Die Analysen werden für Mitarbeiter der KfK GmbH, für Angehörige von Gastinstitutionen auf dem Gelände des KfK und für Fremdinstitutionen außerhalb der KfK ausgeführt. Die Ergebnisse der seit Bestehen des Tox.Labors ausgeführten Ausscheidungsmessungen sind in einer Datenbank gesammelt. Im Berichtszeitraum wurden die vor der Anwendung der EDV in Handkarteien vorhandenen Ergebnisse bis auf wenige Ausnahmen nachgetragen und stehen somit lückenlos für erforderliche retrospektive Recherchen zur Verfügung. Diese Daten wurden benutzt, um die Berufslebensdosis der Mitarbeiter des KfK abzuschätzen, die nach der Strahlenschutzverordnung [BMU 89] zur Einhaltung des Grenzwerts von 400 mSv nachträglich ermittelt werden muß.

Dieser Bericht setzt die Berichte über die Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung in den Vorjahren [Schi 79] und [Schi85a] fort.

2. Inkorporationsüberwachung auf Transuran-Elemente (Pu,Am,Cm,Cf)

Die Inkorporationsüberwachung wird nach den Vorgaben der Strahlenschutzverordnung [BfM 76] durch Raumluftüberwachung, Direktmessung der Aktivität im Körper und durch Analyse der Ausscheidungen ausgeführt. In diesem Bericht wird nur über die Ergebnisse der Ausscheidungsanalysen berichtet, da die anderen Verfahren im KfK von anderen Organisationseinheiten des KfK ausgeführt werden. Es sei jedoch darauf hingewiesen, daß nur alle Verfahren in gemeinsamer Anwendung zu einer optimalen Strahlenschutzüberwachung beitragen [Bun 89].

2.1. Gesetzliche Grundlagen

Grundlage der Überwachung ist die Anwendung der Strahlenschutzverordnung [BfM 76] und der dazugehörenden Ausführungsbestimmungen in Richtlinien [BfM 78], [BfM 81], [BMU 93].

Die im Jahr 1977 in Kraft getretene Strahlenschutzverordnung [BfM 76] wurde im Jahr 1989 durch eine neue [BfM 89] ersetzt. Wesentliche Änderungen, die die Inkorporationsüberwachung betreffen, sind

- zum Teil andere Grenzwerte der Jahresaktivitätszufuhr (GJAZ),
- die Einführung der effektiven Körperäquivalentdosis und
- die Begrenzung der effektiven Berufslebensdosis auf 400 mSv.

Kleinere Grenzwerte der Jahres-Aktivitäts-Zufuhr (GJAZ) hatten zur Folge, daß die vorher benutzten Überwachungsverfahren zum Teil verbessert werden mußten. Die

Anwendung der effektiven Körperdosis bei der Inkorporationsüberwachung macht neben der Berechnung der effektiven Dosis auch die Berechnung von Organdosen und einen Vergleich mit den Grenzwerten erforderlich, und zur Ermittlung der Berufslebensdosis ist die nachträgliche Feststellung der Folgedosis notwendig. Im Berichtszeitraum hat sich daher die Durchführung der Inkorporationsüberwachung geändert.

Es ist zwischen zwei verschiedenen Überwachungsverfahren zu unterscheiden, die eine bestimmte Zielsetzung haben:

- regelmäßig werden in bestimmten Abständen Messungen ausgeführt, mit denen eine unzulässige Inkorporation bei Überschreitung von Schwellenwerten erkannt werden kann,
- nach besonderen Anlässen, die die Besorgnis einer Inkorporation verursachen, werden Messungen nach einem speziellen Überwachungsprogramm ausgeführt, mit dem die Höhe einer eventuellen Zufuhr bestimmt werden kann.

Zur Festlegung der regelmäßigen Messungen wurden Kriterien verwendet, die sich im Berichtszeitraum aufgrund neuer Strahlenschutzregelungen geändert haben. Dadurch änderten sich auch die angewandten Verfahren. Im Berichtszeitraum wurde ein Konzept erarbeitet und zur Anwendung gebracht, mit dem die Strahlenschutzüberwachung beim Umgang mit Plutonium optimiert wird.

2.2. Überwachungsverfahren

Bisher [Schi 79] wurde die Inkorporationsüberwachung mit dem Ziel durchgeführt, ausschließlich eine Überschreitung der Jahresaktivitätszufuhr um mehr als 5 % des GJAZ zu erkennen und bei Erreichen von mehr als 50 % dieses Wertes die erforderliche Ermittlung der Körperdosis vorzunehmen. Zufuhren unter 5% der GJAZ wurden dabei unberücksichtigt gelassen.

Das Verfahren bestand darin, durch monatliche Urinalysen, verbunden mit Ganzkörpermessungen und tägliche Raumluftmessungen die Auflagen der Richtlinie [BMI 78] zu erfüllen.

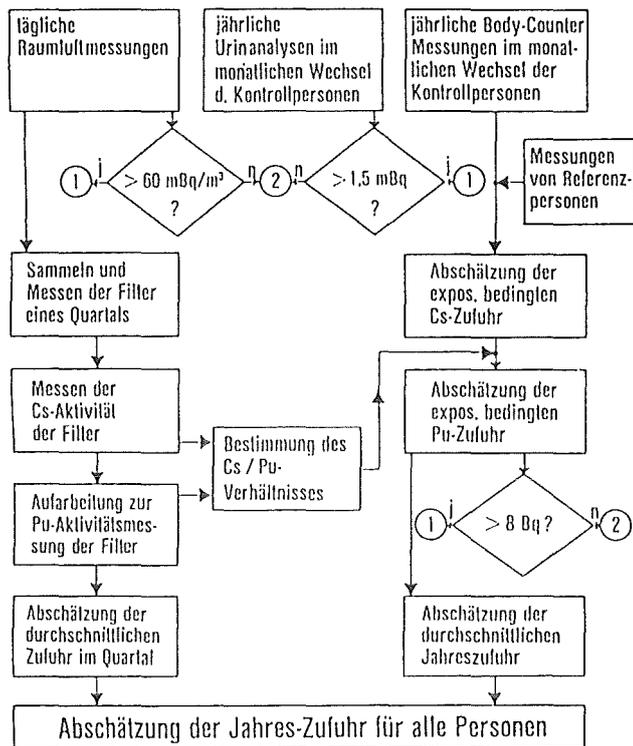
Die Notwendigkeit einer solchen Überwachung ergab sich aus Erhebungen, die vom Strahlenschutzbeauftragten zur Einstufung beruflich strahlenexponierter Personen unter Verwendung eines Erhebungsbogens und der dazu notwendigen Erläuterungen [Schi 79, S.11 bis 14] gemacht wurden.

Um die Zahl der nach diesen Einstufungen notwendig werdenden Urinalysen mit den im Tox.Labor vorhandenen Meßkapazitäten ausführen zu können, wurde ein Verfahren angewandt, das in [Schi 89] beschrieben ist. Es beruht auf den Erfahrungen, die in [Di 86] beschrieben wurden.

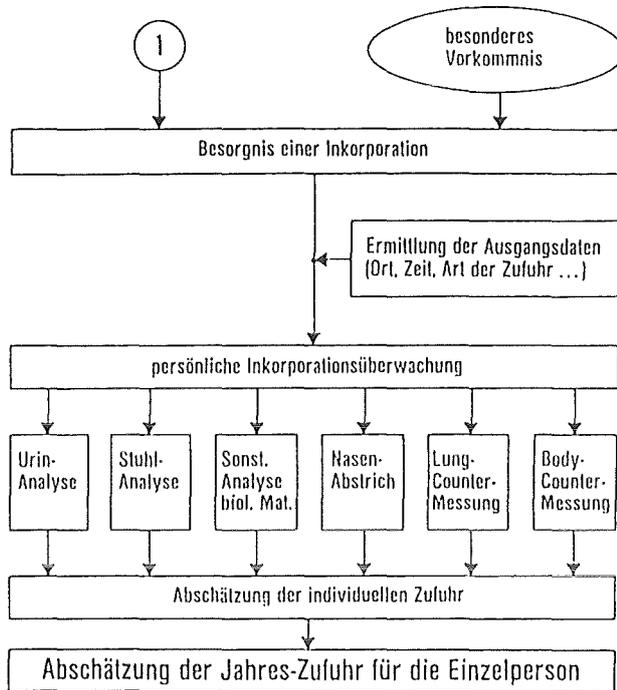
Es besteht darin, daß aus einer Gruppe von Personen, die unter gleichen Arbeitsbedingungen tätig sind, eine oder mehrere Personen (je nach Größe der Arbeitsgruppe) ausgewählt werden, die monatlich als Referenzperson für die gesamte Arbeitsgruppe durch Urinalysen und durch Ganzkörpermessungen überwacht werden. Alle Personen werden täglich durch Messung der Raumlufkonzentration auf eine mögliche Inhalation überwacht (siehe Abb.1).

Bei Überschreitung von Schwellenwerten, die die Besorgnis einer Inkorporation auslösen, werden unverzüglich "Messungen aus besonderem Anlaß" ausgeführt, die in der Sammlung von Urin- und Stuhlproben während der folgenden drei Tage und einer Ganzkörper- und Lungenmessung bestehen. Aus den Ergebnissen dieser Messungen wird die aus diesem Anlaß resultierende Zufuhr bestimmt.

Regelmäßige Messungen



Messungen aus besond. Anlaß



①: persönliche Überwachung ②: keine weitere Überwachung

Abb.1 Ablaufschema der Inkorporationsüberwachung [DI 89]

Die Zufuhr aus den Ergebnissen der Raumluftmessungen wird unter Berücksichtigung der Aufenthaltsdauern nach Auswertung der gemessenen Filter eines Monats errechnet.

Dieses Verfahren konnte bezüglich der Ganzkörpermessungen nur bis zum Jahr 1986 angewandt werden. Nach der Freisetzung von Cs-137 in Tschernobyl entfiel die bis zu diesem Zeitpunkt mögliche indirekte Plutoniumbestimmung durch Cs-Messungen als Referenznuclid für Plutonium. Bei bekanntem Cs/Pu-Verhältnis in einer Anlage konnte bis dahin aus einer Erhöhung des über dem bekannten Wert der Cs-Aktivität in Referenzpersonen auch auf einen erhöhten Pu-Wert geschlossen werden. Nach erfolgter Störung dieses Wertes war dieses Verfahren nicht mehr anwendbar. Stattdessen wurde dann ein anderes Referenznuclid zur indirekten Plutoniumbestimmung bei Lungenmessungen herangezogen [Schi 89]. Es zeigte sich, daß auch das bestimmbare Verhältnis der Americium- und Plutoniumaktivitäten in der Anlage zu diesem Zweck herangezogen werden konnte. Seitdem wurde das Verfahren in der Weise geändert, wie es die Abb.2 zeigt.

Mit Inkrafttreten der Strahlenschutzverordnung im Jahr 1989 waren niedrigere Grenzwerte einzuhalten. Damit mußte auch der Schwellenwert der Raumluftüberwachung geändert werden, der nun mit 0.4 Bq/Tag angegeben wurde.

Im Jahr 1991 konnte das bis zu dieser Zeit praktizierte rollierende Verfahren der monatlichen Urin- und Ganzkörpermessungen nicht mehr angewandt werden, da die Voraussetzungen dazu nicht mehr gegeben waren. Durch den zunehmenden Einsatz von stark wechselndem Fremdpersonal konnten Referenzpersonen, die die notwendige Gleichwertigkeit der Tätigkeit ausüben, nicht mehr festgelegt werden.

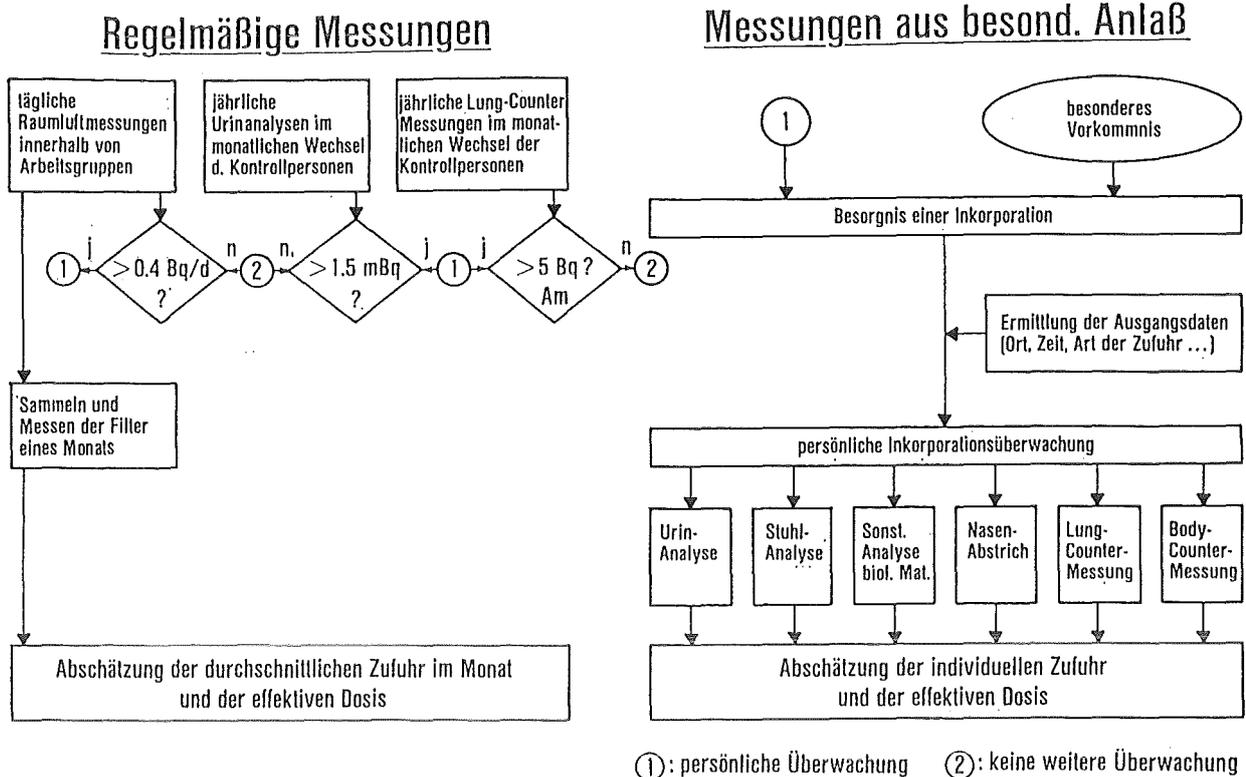


Abb.2 Ablaufschema der Inkorporationsüberwachung nach 1986 [Schi 89]

Die regelmäßige Überwachung wird daher seit 1992 durch Raumlufüberwachung ausgeführt, die begleitend durch Stuhlanalysen und Lungenmessungen ergänzt wird (siehe Abb.3). Diese Regelung lehnt sich an den Entwurf einer Richtlinie zur Durchführung der Inkorporationsüberwachung an [BMU 93].

Stuhlanalysen werden demnach im halbjährlichen Wechsel zur Verifizierung der Raumlufüberwachung ausgeführt. Mit diesen Stuhlanalysen muß nachgewiesen werden, daß im kollektiven Mittel durch die Raumlufmessungen keine geringere Aktivitätszufuhr ermittelt wird, als durch diese Stuhlausscheidung an dem betreffenden Sammeltag sich ergibt. Es wird dabei angenommen, daß bei einer kontinuierlichen Zufuhr während einer Arbeitswoche am Ende der Woche ein Gleichgewichtszustand mit einer annähernd konstanten Ausscheidungsrate von 0.5 der täglichen Zufuhr eingetreten ist.

Als Schwellenwert für die Einleitung von "Messungen aus besonderem Anlaß" (siehe Abb.3 rechte Seite) gilt nach wie vor eine durch Raumlufmessungen bestimmte Aktivitätszufuhr von 0.4 Bq Pu/Tag und ein Schwellenwert für Lungenmessungen oberhalb der Nachweisgrenze für Am-241. Als Schwellenwert der Stuhlausscheidung wird eine Aktivität von 140 mBq/Tag angenommen, der eine Überschreitung der Nachforschungsschwelle nach [BMU 93] erwarten läßt.

Die Ergebnisse der Verifizierung der Raumlufmessungen durch Stuhlanalysen zeigten, daß in einigen Bereichen zur Optimierung eine Veränderung der Meßbedingungen vorgenommen werden mußte, in den meisten Fällen jedoch eine ausreichende Übereinstimmung bestand.

Die durch Raumlufüberwachung ermittelten Zufuhren und Körperdosiswerte wurden unter der konservativen Annahme gemacht, daß eine ständige Anwesenheit im Überwachungsbereich vorliegt. Mit diesen Angaben kann unter Einbeziehung der tatsächlichen persönlichen Daten auch eine individuelle Dosis ermittelt und im zentralen Personendosisregister zur externen Dosis addiert werden.

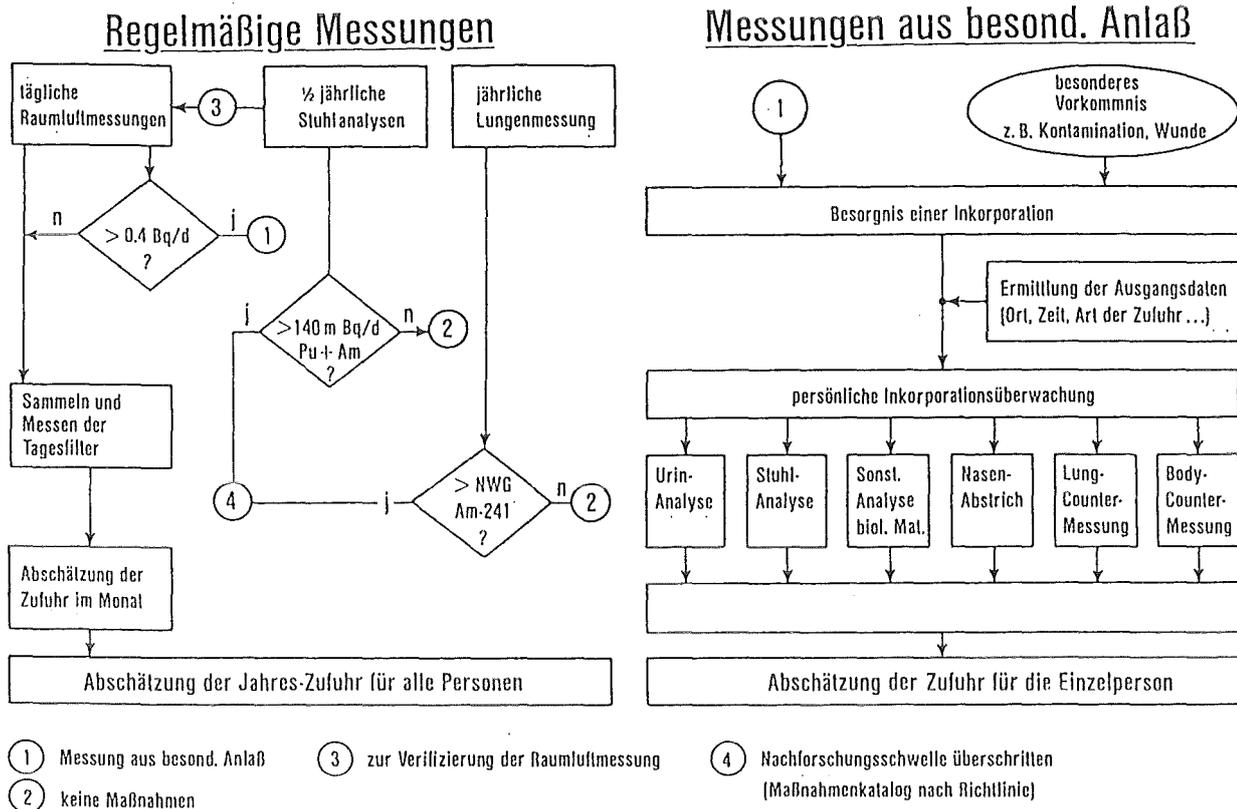


Abb.3
Ablaufschema Inkorporationsüberwachung auf Transurane KfK-Mitarbeiter ab 1992

Eine Aufschlüsselung der individuellen effektiven Dosiswerte für das Jahr 1992 gemittelt über eine Arbeitsgruppe ist in [Di 92] enthalten. Die nach der oben beschriebenen Methode ermittelte mittlere effektive Dosis aus Inkorporationen betrug in der HDB im Jahr 1989 circa 2.06 mSv pro Mann-Jahr, im Jahr 1990 circa 1.48 mSv pro Mann-Jahr, im Jahr 1991 circa 0.56 mSv pro Mann-Jahr und 1992 1.87 mSv pro Mann-Jahr [Ta 93]. Diese Dosis liegt unter 3% der Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung. Durch Urinalysen wäre diese Zufuhr auch bei monatlichen Überwachungsintervallen nach [BMI 78] nicht nachweisbar. Die Raumluftüberwachung stellt somit das Mittel der Wahl dar, auch wenn diese Anwendung umstritten ist.

Voraussetzung zum Einsatz der Raumluftüberwachung als indirekte Inkorporationsüberwachungsmaßnahme ist eine Probenahme der Raumluft an einer repräsentativen Stelle des Raums, sowie bekannte Arbeitsbedingungen und genaue Kenntnis über die Zusammensetzung des verarbeiteten Materials.

Untersuchungen dazu wurden bereits seit 1979 über längere Zeit gemacht [Di 86]. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen bestätigten die Anwendbarkeit dieses Verfahrens durch eine ausreichend gute Übereinstimmung von Messungen der Raumluft und von Stuhlanalysen, mit denen eine Zufuhrbestimmung durchgeführt werden kann.

Dieses Verfahren unterliegt bestimmten Einflußgrößen, die eine Abweichung vom tatsächlichen Wert der Zufuhr verursachen können (zeitliche und räumliche Inhomogenitäten der Aerosolaktivität). Diese Abweichungen werden jedoch in der Weise kompensiert, daß über Aufenthaltsdauer und Anwesenheitszeit eine konservative Abschätzung gemacht wird.

Die Anwendung der Raumluftüberwachung bedeutet zugleich auch die Bestätigung des durch die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) [ICRP 79] aufgestellten Zufuhr-Konzepts, das die Bestimmung der Grenzwerte der Konzentration im Zufuhrmedium (Luft, Wasser, Nahrungsmittel) prinzipiell von den Grenzwerten der Körperdosis ableitet.

2.3. Ausscheidungsmessungen

2.3.1. Urinalysen

Unter Zugrundelegung der biokinetischen Daten der verschiedenen Plutonium-Verbindungen und den daraus resultierenden Ausscheidungsdaten ist grundsätzlich eine Inkorporationsüberwachung durch Urinalysen möglich. Wegen der kleinen Ausscheidungsdaten nach erfolgter Zufuhr, die zudem noch zeitlich stark abnehmen, ist eine einmalige Zufuhr einer Pu-Aktivität in der Größenordnung der zulässigen Grenzwerte der Jahres-Aktivitäts-Zufuhr nur mit extrem empfindlichen Nachweismethoden erkennbar (siehe Abb.4).

Die Forderung, 5% des Grenzwerts der Jahres-Aktivitäts-Zufuhr (GJAZ) bei einer regelmäßigen Urinüberwachung noch erkennen zu können, ist nicht erfüllbar. Bei mindestens monatlicher Überwachung ist bei Inhalation von Plutonium der Lungen-Retentionsklasse W noch eine Zufuhr in der Größe des Grenzwerts der Jahres-Aktivitäts-Zufuhr erkennbar (vgl. Abb.4)

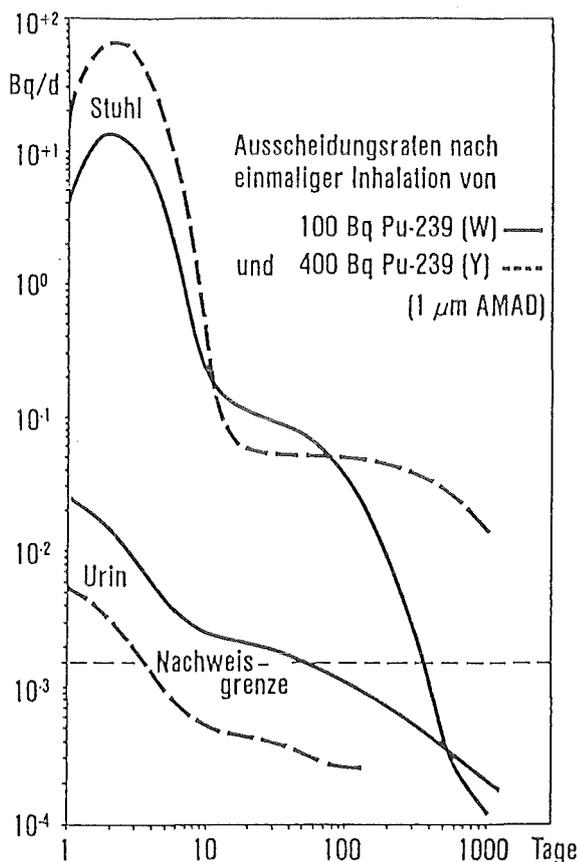


Abb.4 Einmalige Zufuhr

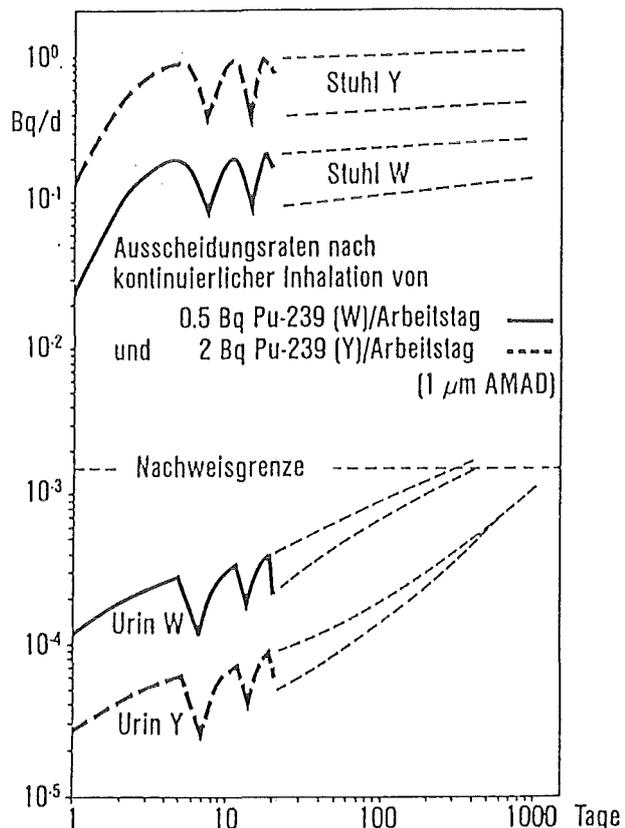


Abb.5 Konstante Zufuhr

Da diese Forderung nicht für alle zu überwachenden Mitarbeiter (aus Kapazitätsgründen und Unzumutbarkeit) erfüllt werden kann, wurde ein rollierendes Verfahren aufgestellt, das zwar eine monatliche Überwachung vorsieht, nach dem aber aus einer Gruppe von Personen mit gleichem Inkorporationsrisiko nur einzelne Personen als

Referenz für die Gesamtgruppe überwacht wurden, jede Einzelperson aber mindestens einmal im Jahr untersucht wird.

Dieses Verfahren hat neben der Überwachung der Einzelperson den psychologischen Effekt, daß gruppenbezogen eine monatliche Überwachung praktiziert wird.

Eine Inkorporationsüberwachung einer kontinuierlichen Zufuhr in Höhe des Grenzwerts der Jahres-Aktivitäts-Zufuhr, die über die gesamte Arbeitszeit gleichmäßig verteilt angenommen wird, ist durch Urinalysen mit der zur Verfügung stehenden Nachweismethode (siehe Anhang 5) und den damit erreichbaren Nachweisempfindlichkeiten erst nach längerer Inkorporationsdauer möglich, wie die Abb.5 zeigt.

Bei unlöslichen Plutonium-Verbindungen der Klasse Y ist dies erst nach einer kontinuierlichen Zufuhr in Höhe des GJAZ nach mehreren Jahren erkennbar.

2.3.2. Stuhlanalysen

Wesentlich empfindlicher als Urinalysen sind Stuhlanalysen, da die Ausscheidungsraten nach Inhalation der gleichen Aktivität um circa drei Größenordnungen größer sind als die des Urins (siehe Abb.4 und 5). Sie haben daher ihre besondere Bedeutung bei Messungen aus besonderem Anlaß, die unverzüglich nach der Inhalation ausgeführt werden. In diesen Fällen lassen sich durch Stuhlanalysen noch Zufuhren in Höhe von weniger als 1/1000 des Grenzwerts der Jahres-Aktivitäts-Zufuhr erkennen.

Eine Inkorporationsüberwachung einer einmaligen Zufuhr ist nach Abb.4 prinzipiell auch noch nach längerer Zeit durch Stuhlanalysen nachweisbar. Eine Inkorporationsüberwachung durch Stuhlanalysen mit dem Ziel einer Zufuhrbestimmung ist jedoch bei Unkenntnis eines Zufuhrzeitpunkts nicht möglich. Kleinste Zufuhren, die kurz vor der Probenahme erfolgten, können die gleiche Ausscheidungsrate haben, wie größere Zufuhren längere Zeit vorher. Da diese Unterschiede bis zu 4 Größenordnungen betragen können, ist eine Zufuhrbestimmung nicht eindeutig.

Auch eine kontinuierliche Zufuhr in Höhe des GJAZ läßt sich durch Stuhlanalysen nachweisen, allerdings ist auch hier eine quantitative Aussage nicht möglich, da die Ausscheidungsraten einen deutlichen Tagesgang aufweisen (Abb.5). Zu erkennen ist jedoch, daß am Wochenende die Ausscheidung ein Maximum anstrebt.

3. Durchführung und Qualitätskontrolle der Analysen

Im Tox.Labor werden Analysen von Tritium,Uran, Thorium, Plutonium, Americium, Curium und Californium im biologischen Material durchgeführt. Die benutzten Analyseverfahren zum Nachweis verschiedener Radionuklide sind im Anhang 5 zusammengestellt [Wi 82],[Schi90].

Eine regelmäßige Qualitätskontrolle der Analysen wird durch Kontrollmessungen durchgeführt. Sie bestehen darin, daß

- die chemische Ausbeute bestimmt wird,
- die Kontaminationsfreiheit der Detektoren durch regelmäßige Messungen des Nullwerts belegt wird,
- das Fehlen einer "cross-contamination" der Probengefäße durch Kontrollmessungen und entsprechende Maßnahmen belegt wird und
- bei alpha-Messungen seit 1991 der einfache statistische Fehler des Ergebnisses angegeben wird.

Systematische Fehler, die in einer unzureichenden Kalibrierung der benutzten Tracer-Lösung oder als Pipettierfehler auftreten könnten, werden durch regelmäßige laborinterne Überprüfung so gering wie möglich gehalten.

Die Zählansprechwahrscheinlichkeit wurde für jeden einzelnen Meßplatz durch Benutzung eines kalibrierten Am-241-Präparats bestimmt und für die nachfolgende Berechnung der Aktivität aus den ermittelten Zählraten im Rechner gespeichert.

Im Tox.Labor werden die Qualitätskontrollen mit Sorgfalt ausgeführt, wobei die Kenntnis von der Unsicherheit der Probenahme und der Schwankung der biologischen Parameter (individuelle Besonderheiten des Ausscheidungsverhaltens können um den Faktor 2 - 3 verschieden sein) diese Sorgfalt nicht beeinflusst.

Es wird deshalb bei der Ergebnismeldung, die in jedem Fall die Angabe von nur zwei signifikanten Stellen enthält, darauf hingewiesen.

3.1 Arbeitsvorschriften

Die Analysen werden im Tox.Labor nach Arbeitsvorschriften ausgeführt, die im Anhang 5 aufgeführt sind.

Sie bestehen im einfachsten Fall (Tritium-Analyse) darin, daß ein Aliquot des Urins direkt nach Zusatz geeigneter Szintillatorsubstanzen mit einem Flüssigszintillationsspektrometer gemessen wird.

In den meisten Fällen müssen die Analysen jedoch nuklidspezifisch nach Aufarbeitung der Proben (Urin, Stuhl, Gewebe, Blut u.a.) durch Eindampfen oder Veraschung ausgeführt werden. Nach Zusatz eines Leitnuklids, das zur Bestimmung der chemischen Ausbeute dient, erfolgt eine nuklidspezifische Abtrennung. Nach Elektrolyse des Nuklids auf einem Edelstahlplättchen wird die Aktivität der Probe durch alpha-Spektrometrie bestimmt.

Die Abtrennung von alpha-Nukliden (Pu,Am,U und ähnliche) wird nuklidspezifisch durch Flüssig-Extraktion so ausgeführt, daß die Abtrennung störender Nuklide möglichst quantitativ erfolgt. Dazu sind Extraktionskoeffizienten zu erreichen, die einen großen Dekontaminationsfaktor (kleine Extraktionskoeffizienten) gegenüber diesen störenden Radionukliden aufweisen. Sie liegen bei den angegebenen Verfahren im Bereich von 10 bis 1000 [Wi82] und sind für eine Überwachung allgemein ausreichend. Bei der anschließenden alpha-spektrometrischen Bestimmung sind diese störenden Nuklide in fast allen Fällen durch die Messung des spezifischen alpha-Spektrums erkennbar und können auf physikalischem Wege eliminiert werden. Eine quantitative Abtrennung mit extrem hohen Dekontaminationsfaktoren (kleinen Extraktionskoeffizienten) ist daher in den meisten Fällen nicht erforderlich.

Eine Ausnahme davon ist beim Thorium zu beachten. In der Praxis zeigte es sich beim Nachweis von Plutonium in Stuhlproben, daß ein Deko-Wert von 10 gegenüber Th-228 nicht ausreichend groß ist. Der natürliche Gehalt der Nahrungsmittel an Thoriumverbindungen, die nach Verzehr nahezu vollständig wieder im Stuhl ausgeschieden werden, kann so hoch sein, daß er den Pu-Nachweis stört. Th-228 hat eine alpha-Energie, die sich nur wenig von der alpha-Energie des Pu-238 unterscheidet. Aus diesem Grund kann es von diesem durch alpha-Spektrometrie nur schwer unterschieden werden. Diese Störung wurde erst später im April 1990 erkannt [Ob 90] und konnte erst danach durch zusätzliche Extraktionsschritte und einer damit verbundenen Erhöhung des Dekontaminationsfaktors beseitigt werden. In dem beschriebenen Analysenverfahren ist dies berücksichtigt.

Die Ergebnisse von Stuhlanalysen auf Plutonium, die vor diesem Zeitpunkt analysiert wurden, können somit einen systematischen Fehler aufweisen, dessen Höhe jedoch

wegen des unbekanntem Anteils des Th-228 in den Nahrungsmitteln nicht nachträglich bestimmbar ist. Da dies jedoch zu höheren Werten führt, als tatsächlich vorhanden ist, liegen die aus diesen Ergebnissen abgeleiteten Zufuhrwerte bei Messungen aus besonderem Anlaß konservativ auf der sicheren Seite und stellen somit keine Beeinträchtigung der Sicherheit im Strahlenschutz dar.

Die Plutoniumanalysen werden generell durch Alpha-Spektrometrie ausgeführt. Seit 1989 werden jedoch bei Messungen, die aufgrund von Messungen aus besonderem Anlaß ausgeführt werden, auch der Anteil an Pu-241 berücksichtigt. Dieser Anteil wird entweder aus dem bekannten Verhältnis der Pu-Alpha-Aktivität zur Pu-241-Aktivität berechnet oder wenn möglich durch Direktmessung der Beta-Aktivität der Probe mit einem Flüssigszintillationsspektrometer bestimmt. Dies ist erforderlich, wenn es sich um Plutonium handelt, bei dem durch längere Standzeiten das Pu-241 aus dem meist ebenfalls vorhandenen Am-241 in größerem Maß nachgewachsen ist. In diesen Fällen ist der Dosisbeitrag des Pu-241 nicht mehr zu vernachlässigen und wird daher notwendigerweise mit in die Dosisberechnung einbezogen.

3.2. Bestimmung der chemischen Ausbeute

Zur Bestimmung der chemischen Ausbeute einer Analyse wird im Tox.Labor jeder Probe vor der Verarbeitung jeweils eine genau bekannte Aktivität eines bestimmten Leitisotops zugesetzt. Für Plutonium wird Pu-236, für Americium, Curium und Californium wird Am-243, für Uran wird U-233 verwendet. Thorium-Analysen werden mit Th-229 versetzt, für Np steht kein Leitisotop zur Verfügung. Stattdessen wird die Ausbeute von 60 % eingesetzt, die sich bei Zugabe von Np-237 bei einer Serie von Kontrollanalysen ergeben hat [Wi 82].

Die zugesetzten Aktivitäten werden nach Bedarf im Labor selbst kalibriert, da keine kalibrierten Stammlösungen vorliegen. Die Größenordnung der zugesetzten und genau bestimmten Aktivitäten liegen für

Uran bei	50 mBq
Pu bei	20 mBq
Am + TPU bei	60 mBq
Th bei	80 mBq.

Die Ergebnisse der chemischen Ausbeutebestimmung aller Analysen in den Jahren 1988 bis 1992 sind im folgenden aufgelistet:

=====			
AUSBEUTEN 1988			
Nuklid	Mittelw.	Std.Abw.	Anzahl
-----	-----	-----	-----
U-AN	48.5	15.0	192
PU	55.2	14.4	2339
AM	49.9	21.2	216
T-PU	56.0	16.1	454
TH-A	42.0	17.7	35
TH28	56.1	5.6	2
=====			
AUSBEUTEN 1989			
-----	-----	-----	-----
U-AN	51.0	15.9	805
PU	60.8	16.1	2012
AM	52.4	16.5	40
T-PU	55.9	17.3	807
=====			

AUSBEUTEN 1990			
U-AN	55.8	13.1	960
PU	56.8	15.5	1920
AM	55.5	19.1	13
T-PU	57.6	17.6	940
TH-A	46.2	15.0	28

AUSBEUTEN 1991			
U-AN	48.4	14.8	1354
PU	55.7	17.8	2106
AM	63.3	17.4	68
T-PU	56.3	17.8	1231
TH-A	35.3	19.8	45

AUSBEUTEN 1992			
U-AN	50.1	15.4	1768
PU	54.1	18.7	2166
AM	61.7	19.0	77
T-PU	57.9	19.3	1011
TH-A	46.6	19.4	46

Es ist ersichtlich, daß die Analysen mit einer gleichmäßig guten Ausbeute über die angegebenen Zeiträume ausgeführt wurden.

3.3. Nachweisgrenze des Analysen-Verfahrens

Die Nachweisgrenze eines Analysenverfahrens wird üblicherweise unter Bezug auf die Impulszahl des Blindwerts des Verfahrens angegeben. Gebräuchlich ist dabei die Verwendung der einfachen oder mehrfachen Standardabweichung dieser Impulszahl bei einer vorgegebenen Zählzeit. Als Nachweisgrenze wird üblicherweise diejenige Netto-Aktivität bezeichnet, die sich als bestimmtes Vielfaches der Standardabweichung unter Benutzung der Zählwahrscheinlichkeit des Detektors, der chemischen Ausbeute der Messung und der Dauer der Messung ergibt [Cu 64].

Nach DIN 25482 [DIN 89] ist der Begriff Nachweisgrenze von dem Begriff Erkennungsgrenze deutlich unterschiedlich definiert. Diese Definition ist jedoch im Bereich der Low-level-Messung noch nicht eindeutig anwendbar. Es führt daher leicht zu Mißverständnissen, wenn der Begriff Nachweisgrenze mit verschiedenen Auslegungen benutzt wird.

Im Tox.Labor wird für die "Nachweisgrenze" eine Definition benutzt, die mit dem DIN-Begriff nicht übereinstimmt, die sich aber in der Praxis aus pragmatischen Gründen sehr bewährt hat.

Ein Blindwert kann zur Bestimmung der "Nachweisgrenze" nur herangezogen werden, wenn er durch Messungen genau genug bestimmbar ist. Dazu ist die Kenntnis des Nullwerts der jeweiligen Meßkammer Voraussetzung. Im Tox.Labor sind z.Zt. mehr als 32 Meßkammern im Einsatz, deren Nullwert innerhalb eines durch Nullwertmessungen bekannten Bereichs schwankt.

Weiterhin sind im Tox.Labor zur Analyse von alpha-Strahlern ca.200 Analysengefäße im Einsatz, von denen jeweils der Blindwert bestimmt werden müßte. Dies ist zum einen aus praktischen Gründen nicht durchführbar und zum anderen werden Teile der verwendeten Gerätesätze nach Aufarbeitung höherer Aktivitäten zur Erhaltung einer niedrigen "Nachweisgrenze" vorsorglich ausgetauscht und damit verändert.

Aus der Praxis ist bekannt, daß der Blindwert dieser Analysengefäße hauptsächlich aus der Impulszahl der Messung eines leeren Stahlplättchens herrührt.

Der Anteil der Impulszahl, der von den verwendeten Chemikalien und dem Gerätesatz herrührt, liegt statistisch nicht signifikant über diesen Leerwerten. Dies ist bekannt aus den Ergebnissen einer Reihe von Blindwerten, die zu diesem Zweck ausgeführt wurden. Sie hatten keine statistisch signifikant höheren Impulszahlen als die Nullwerte der leeren Plättchen. Dies wurde auch durch die Analysenergebnisse bestätigt, die im Verlauf längerer Zeit bei Urinproben von Personen erhalten wurden, die routinemäßig ohne eine vorherige Exposition überwacht wurden.

Aus diesem Grund wird im Tox.Labor die Impulszahl eines leeren Plättchens zur Festlegung einer "Nachweisgrenze TOX" herangezogen.

Diese Impulszahl ergibt sich bei einer Meßzeit von 60 000 Sekunden aus den gemessenen Impulszahlen im gesamten Energiebereich von 3.8 bis 6.3 MeV und liegt mit einer für die einzelnen Meßkammern verschieden großen statistischen Schwankung zwischen 0 und 10 Impulsen. Wegen dieser Schwankungen jeder der 16 und später 32 Meßstellen wird der höchste Wert mit 12 ± 4 Impulsen/60000 sek. Meßzeit zur Bestimmung der "Nachweisgrenze TOX" herangezogen. Unter Berücksichtigung des 3-sigma-Fehlers ergibt sich daraus eine "Nachweisgrenze TOX" von 1.48 E-03 Bq und wurde auf 1.5 mBq festgelegt. Damit liegen alle Ergebnisse mit der Angabe " $<$ Nachweisgrenze TOX" statistisch sicher unterhalb dieser Aktivität.

Wegen der unvermeidlichen statistischen Schwankungen ist bei der Ermittlung eines Meßergebnisses im low-level-Bereich der Abzug eines Blindwerts zum Erhalt des Nettoeffekts nicht möglich. Es wird daher die weitere pragmatische Übereinkunft getroffen, daß die Brutto-Zählrate gleich der Netto-Zählrate anzusehen ist. Bei dieser Annahme wird unter Umständen ein systematischer Fehler in Kauf genommen, der darin besteht,

- daß bei Messungen mit Detektoren mit niedrigerem Nullwert auch statistisch signifikant niedrigere Ergebnisse als 1.5 mBq vorliegen können, und
- daß bei Messungen in Meßstellen mit einem hohen Nullwert bei gleichzeitig geringer chemischer Ausbeute die Ergebnisse höher angegeben werden, als sie unter Berücksichtigung dieses Nullwerts tatsächlich sind.

Beide Abweichungen stellen für die Beurteilung der Ergebnisse kein Sicherheitsdefizit dar, da in beiden Fällen eine höhere Aktivität angegeben wird und damit eine konservativ sichere Aussage erfolgt.

Eine Reduzierung dieser Nullwerte mit dem Ziel einer kleineren "Nachweisgrenze TOX" wurde im letzten Jahr dadurch angestrebt, indem hochauflösende Detektoren (ionenimplantierte Zähler) eingesetzt wurden, mit denen der Meßbereich (region of interest) verkleinert und damit der Nullwert ebenfalls kleiner ausfallen könnte. Über die Ergebnisse dieser Untersuchungen ist eine Publikation in Arbeit [Schi 93], mit der zu Fragen der "Nachweisgrenze TOX" und "Nachweisgrenze DIN" Stellung genommen wird.

In der Tabelle 1 sind Auszüge aus diesen Messungen als Beispiele für die gemessenen Nullwerte verschiedener Detektortypen aufgeführt, aus denen hervorgeht, daß eine Häufigkeitsverteilung der gemessenen Nullraten auf eine gerätespezifische Abhängigkeit des Nullwerts hinweist. Die Benutzung ausgewählter geeigneter Detektoren könnte damit zu einer kleineren "Nachweisgrenze TOX" führen.

Siehe Tabelle 1.

MS	Imp./60000"			Häufigkeitsverteilung der Ges.-Impulszahlen												Zahl der Messg	
	Pu- -238	-239	-Ges.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		12
8	0.50	1.80	2.30	5	8	12	7	3	4	0	1						40
9a	0.73	1.61	2.33	4	3	12	7	6	1								33
9b	0.14	0.21	0.36	11	1	2											14
10a	0.44	1.59	2.03	6	9	2	4	3	2	0	0	1					27
10b	0.21	0.14	0.36	9	5												14
11	0.78	2.03	2.80	3	9	10	2	6	6	3	1						40
17	1.22	2.66	3.88	1	2	8	5	13	7	2	2	0	0	0	0	1	41
24	0.17	0.57	0.74	16	21	5											42

Legende: 8, 9a, 10a, 11, 17, 24 = Oberflächen-Sperrschichtzähler
9b, 10b = partiell ionenimplantierter Zähler

Tab.1: Auswahl von Ergebnissen der nuklidspezifischen Nullwertmessungen 1992 für den Plutonium-Meßbereich aus 32 Meßstellen (MS)

Der Vergleich der Nullraten der Meßstellen zeigt eine deutliche Verbesserung bei Anwendung der ionenimplantierten Detektoren. Die Häufigkeitsverteilung der Impulszahlen der anderen Meßanordnungen deutet zum Teil auf Einflüsse hin, die nicht statistisch bedingt sind.

3.4. Kontrolle der Kontaminationsfreiheit der benutzten Geräte

Besonderer Aufwand muß in einem low-level-Labor getrieben werden, um eine Verschleppung von Aktivitäten zu verhindern. Der Einfluß einer cross-Kontamination der Analysen durch Verarbeitung von großen Aktivitäten in den Analysengeräten wird im Tox.Labor dadurch vermieden, daß jeder Gerätesatz, der für die Durchführung der Analysen benutzt wird, (bestehend aus einer Quarzschale, einem Schütteltrichter, einer Glasschale und einer Elektrolysezelle) solange als kontaminiert betrachtet und deshalb nicht für eine weitere Analyse herangezogen wird, solange das Meßergebnis nicht bestätigt, daß keine Aktivität oberhalb der vorgegebenen Schwelle in Höhe der "Nachweisgrenze TOX" darin verarbeitet wurde.

Bei ermittelten Meßwerten oberhalb der doppelten "Nachweisgrenze TOX" unseres Verfahrens wird eine Reinigung des gesamten Gerätesatzes in einer Dekontaminationslösung (Mucosol 3 %-ig) vorgenommen, deren Wirksamkeit bei ermittelten Meßwerten oberhalb von 5 mBq zusätzlich durch eine Kontrollanalyse bestätigt wird. Diese Kontrollanalyse besteht darin, daß in diesem Gerätesatz eine komplette Analyse jedoch ohne Zusatz von Urin und Spike-Aktivität ausgeführt wird. Das Ergebnis dieser Analyse muß unterhalb der "Nachweisgrenze TOX" des Analysenverfahrens liegen, andernfalls wird die Reinigung des Gerätesatzes wiederholt.

Meßergebnisse oberhalb von 1 Bq haben zur Folge, daß der gesamte Gerätesatz nicht mehr verwendet wird, sondern zum radioaktiven Abfall gegeben wird. Es hat sich herausgestellt, daß auch bei umfassender Reinigung nur durch mehrere Kontrollanalysen die gewünschte Kontaminationsfreiheit erreicht werden kann. Aus Kostengründen wird auf diesen aufwendigen Schritt verzichtet.

Blindanalysen sind gelegentlich zur Kontrolle des Analysenverfahrens erforderlich und bestehen darin, eine Analyse mit Urin nicht exponierter Personen oder von Modellurin auszuführen. Diese Analysen können nur stichprobenartigen Charakter haben, da sie nur für den Gerätesatz Gültigkeit haben, mit dem sie ausgeführt werden. Im Toxikologischen Labor sind zur Zeit ca. 200 Gerätesätze im Umlauf. Aus den Meßergebnissen, die in der überwiegenden Zahl unter der "Nachweisgrenze TOX" liegt, kann schon per se auf eine Kontaminationsfreiheit der Geräte geschlossen werden.

3.5. Fehler- und Nuklidangabe

Die Meßergebnisse wurden seit Oktober 1991 in Anbetracht der noch nicht anwendbaren DIN-Norm [DIN 89] dahingehend erweitert, daß zusätzlich die einfache Standardabweichung angegeben wird, die sich nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz aus den Zählraten der zu bestimmenden Aktivität und der gemessenen zugesetzten Spike-Aktivität-Zählrate ergibt.

Zusätzlich wurde seit dieser Zeit auch das Verhältnis der Einzel-Isotope zum gemessenen Gesamtnuklid angegeben. So wird bei Plutonium-Messungen der %-Anteil des Pu-239 zur Gesamtaktivität von Pu-238/239/240 in % angegeben, bei Messungen von T-Pu-Nukliden der %-Anteil an Am-241 zur Gesamtaktivität von Am-241, Cm-242/244, Cf-252, bei Uran-Messungen der %-Anteil des U-238 zur Gesamtaktivität von U-238/235/234.

Diese Angaben sind im Einzelfall dann von Interesse, wenn bei Zwischenfällen eine bekannte Isotopenzusammensetzung zu berücksichtigen ist, weil die Grenzwerte der Jahres-Aktivitäts-Zufuhr für unterschiedliche Isotope (wie bei Pu-238 und Pu-239) verschiedene Werte haben. Sie werden wegen der großen statistischen Schwankungsbreite nur bei Ergebnissen oberhalb von 10 mBq gemacht.

3.6. Teilnahme an Vergleichsanalysen

Zur Qualitätskontrolle eines Labors gehören neben den innerbetrieblichen Qualitätskontrollen auch die Teilnahme an unabhängig organisierten Vergleichsanalysen. Das Tox.Labor hat sich erfolgreich an solchen Vergleichsanalysen des Fachverbands für Strahlenschutz und der CEA im europäischen Raum beteiligt.

4. Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung

Die Inkorporationsüberwachung setzt sich aus den regelmäßigen Urinalysen (siehe 4.1) und den Messungen aus besonderem Anlaß (siehe 4.2) zusammen.

Bei den Urinalysen liegen die Ergebnisse in fast allen Fällen unter der "Nachweisgrenze TOX" unseres Analysenverfahrens und stellen damit sicher, daß größere Inkorporationen oberhalb von Grenzwerten nicht aufgetreten sind.

Aus den Ergebnissen der Ausscheidungsmessungen, die aus besonderem Anlaß ausgeführt wurden, wurde in den meisten Fällen die Höhe einer Zufuhr ermittelt, die mit den Grenzwerten der Jahres-Aktivitätszufuhr [BMI 76], [BMU 89] verglichen wurde. Seit 1989 werden zusätzlich auch die daraus resultierenden effektiven Körperäquivalentdosen und die Organdosen ermittelt und im zentralen Dosisregister gesammelt. In den meisten Fällen lagen sie weit unterhalb der Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung (siehe 4.2 und Anhang 3).

Die effektive Berufslebensdosis wird seit 1989 für diejenigen Personen ermittelt, bei denen aufgrund der vorliegenden Untersuchungen Meßwerte zur Verfügung standen

(siehe 4.3). Zusätzliche Untersuchungen dazu sind noch erforderlich und noch in Arbeit.

4.1 Regelmäßige Inkorporationsüberwachung

Eine regelmäßige Überwachung wurde im Berichtszeitraum überwiegend für die Radionuklide Tritium, Uran, Neptunium, Plutonium und Transplutonium-Elemente ausgeführt. In den meisten Fällen wurden dazu pro Jahr ein- oder mehrmalige Untersuchungen von Urinproben vorgenommen. Die Häufigkeit dieser Überwachung und die Art der Analysen stammt von Auflagen der Behörden, die sich im Verlauf der Zeit nicht wesentlich geändert haben. Die Intensität der Inkorporationsüberwachung läßt sich dabei durch die Zahl der Untersuchungen pro Jahr ausdrücken, die im Anhang 2 aufgeführt ist. Eine ein- oder zweimalige Überwachung stellt dabei lediglich eine stichprobenartige Kontrolle dar, die keinen quantitativen Rückschluß auf die Höhe einer Inkorporation zuläßt. Mehrmalige Untersuchungen, wie sie im Verlauf von Messungen aus besonderem Anlaß üblich sind, stellen eine wirkungsvollere Überwachung dar (siehe 4.2). Die Statistik in Anhang 2 ist deshalb für ein-, zwei- und mehrmalig ausgeführte Untersuchungen aufgeschlüsselt.

Wie aus den Zusammenstellungen der Häufigkeit der ausgeführten Analysen (Anhang 2) und der Statistik der Gesamtanalysen (Anhang 1) hervorgeht, hat sich die Zahl der nur einmalig ausgeführten Analysen auf Plutonium im Berichtszeitraum zugunsten der häufiger ausgeführten Messungen aus besonderem Anlaß verringert. In gleicher Weise hat sich auch die Zahl der Stuhlanalysen entsprechend den Forderungen der neuen Strahlenschutzverordnung und des neuen Überwachungssystems erhöht, was einer weiteren Verbesserung des Strahlenschutzes entspricht.

Die Tritium-Überwachung besteht darin, daß monatlich Urinalysen ausgeführt werden, aus deren Ergebnissen eine Körperdosis ermittelt wird. In [Schi90] wird beschrieben, wie die Dosisermittlung aus Urinalysen im Urin durchzuführen ist. Die Anwendung in der Praxis ist in [An 91] beschrieben. Ein Rechenprogramm H3DOS [Gr 92] wird seit Ende 1992 im Tox.Labor zur Ermittlung der effektiven Monatsdosen angewandt, das auf die Rechenvorschrift von [Schi 90] und die im Entwurf vorhandene Richtlinie [BMU 93] zurückgreift. Die monatlich unter Beachtung der in [BMI 85] festgelegten Rundungsregel ermittelten effektiven Dosen werden in der zentralen Dosiskartei der KfK gesammelt.

Die Überwachung auf Uran wird fast ausschließlich für Mitarbeiter von Fremdinstitutionen ausgeführt. Wegen der kurzen biologischen Halbwertszeit eines Teils des zugeführten Urans ist eigentlich eine häufigere Überwachung durch Urinalysen erforderlich, die aus praktischen Gründen durch eine Raumluftüberwachung ersetzt oder ergänzt wird. Spezielle Probleme sind in [Schi85b] beschrieben.

Die regelmäßige Überwachung auf Transurane wird im KfK monatlich durch täglich ausgeführte Raumluftmessungen ausgeführt. Zu beachten ist, daß die daraus errechnete Körperäquivalentdosis aus konservativen Gründen höher angegeben wird, als sie wahrscheinlich ist. Dies rührt daher, daß zur Berechnung der Dosis aus der Raumluftkonzentration eine ständige Aufenthaltsdauer zugrundegelegt wird, die im Einzelfall unterschritten wird. Wie hoch diese Überschätzung tatsächlich ist, wird durch die seit 1992 zur Verifizierung der Raumluftüberwachungsdosen durchgeführten jährlich zweimaligen Stuhlanalysen bei der Plutoniumüberwachung ermittelt [Di 94].

Bei gleichbleibender Kapazität des Tox.Labors, die bei 3500 Alpha-Analysen pro Jahr liegt, mußte im Jahr 1987 die stoßweise Untersuchung für Fremdfirmen (NUKEM) unter Verringerung der eigenen Überwachung ausgeführt werden.

Durch personelle Erweiterung des Tox.Labors in den Jahren 1990 bis 1992 konnte die Kapazität des Tox.Labors bis zum Erreichen der räumlichen Auslastung gesteigert werden. Sie erreichte 1991 mit über 5000 Alpha-Analysen ihr Maximum.

Eine Erweiterung ist trotz steigender Nachfrage nicht möglich. Abhilfe wäre hier nur durch räumliche und personelle Erweiterung erreichbar. Dies bedeutet, daß die Forderung einer z.Zt. in Vorbereitung befindlichen Richtlinie des BMU mit dem Arbeitstitel "Anforderungen an Inkorporationsmeßstellen" im Tox.Labor derzeit bezüglich der Fertigstellungszeit der Analysen nicht erfüllt werden kann.

Die Verteilung der Analysen auf die verschiedenen Auftraggeber ist im einzelnen in den Anhängen 1 und 2 ersichtlich. Eine kurze Zusammenfassung ist in der Tabelle 2 aufgeführt.

		1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
KfK	Gesamt	860	717	602	1085	1190	1265	1839	1311
	alpha	835	583	540	1045	1080	1239	1828	1262
Gast	Gesamt	1369	1685	1474	1545	1408	1917	1582	2056
	alpha	937	1159	801	873	1010	1262	964	1428
Fremd	Gesamt	2963	3097	4321	3744	1776	1566	2450	2386
	alpha	1218	1437	2238	1582	1633	1319	2398	2379
Summe	Gesamt	5192	5499	6397	6374	4374	4748	5871	5763
	alpha	3990	3179	3579	3500	3723	3820	5190	5069

Tabelle 2: Verteilung der Analysen auf die Auftraggeber des Tox.Labors

4.2. Messungen aus besonderem Anlaß

Bei außergewöhnlichen Ereignissen werden zur Feststellung einer möglichen Inkorporation spezielle Meßprogramme angewandt. Sie bestehen bei den Aktiniden darin, daß sofort nach dem Verdacht einer Inkorporation in den folgenden drei Tagen Urin- und Stuhlproben gesammelt und analysiert werden.

Aus den Ergebnissen dieser Untersuchungen wird unter Benutzung von Modellen der ICRP [ICRP 79] und des Fachverbands für Strahlenschutz [Gü 87] sowie mit Hilfe eines Rechenprogramms [He 87] und der Verwendung von Dosisfaktoren des BMU [BU 89] eine Zufuhr und Körperdosis abgeschätzt.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind im Anhang 3 zusammengestellt.

Es zeigt sich, daß von den im Jahr insgesamt überwachten Personen ca.3 % durch Messungen aus besonderem Anlaß überwacht wurden. Die Zufuhren lagen in den meisten Fällen unterhalb der Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung. Die daraus errechenbaren effektiven Körperäquivalentdosen und Organdosen lagen bei Plutonium und Transplutonium-Elementen wegen der in Deutschland gegenüber den international benutzten Grenzwerten noch entsprechend niedriger.

Im Vergleich zu den durch routinemäßige Raumluftmessungen im Bereich der HDB ermittelten effektiven Körperäquivalentdosen sind die dort und in anderen Bereichen bei Messungen aus besonderem Anlaß ermittelten Zufuhren und effektive Körperäquivalent- und Organdosen in den meisten Fällen als geringer anzusehen als die Routine-Dosiswerte. Sie liegen in den meisten Fällen unter 5% der Grenzwerte der Jahres-Aktivitätszufuhren, wie aus dem Anhang 3 ersichtlich ist. Die im Anhang 3 aufge-

fürten Messungen wurden zu großen Teil auch nur zum Ausschluß einer Inkorporation bei kleineren Wundkontaminationen ausgeführt, bei denen aufgrund der Ergebnisse von Urinalysen keine weitere Abschätzung vorgenommen wurde.

Inkorporationen durch Inhalation wurden nur in wenigen Fällen oberhalb von 5% bzw. 50% der Grenzwerte der Zufuhr festgestellt.

In Einzelfällen konnten bei der Routine-Überwachung durch Urinalysen oder Lungen-Zähler-Messungen längere Zeit zurückliegende Inkorporationen von Plutonium oder Americium entdeckt werden [Schi 89]. Durch daraufhin ausgeführte zusätzliche Urin-, Stuhl- und Lungen-Zähler-Messungen wurde versucht, einen eventuellen Zufuhrzeitpunkt und die wahrscheinliche Höhe der Zufuhr zu bestimmen. Diese Zufuhren erfolgten vor längerer Zeit unter Bedingungen, die heute nur schwer nachvollziehbar sind und auf Grund der heutigen Strahlenschutzvorschriften auch nicht mehr als möglich angesehen werden. Die Abschätzung geht daher von heutigen Bedingungen aus, die eine konservative Bewertung vorsieht. In Einzelfällen mußte daher von einer Zufuhr ausgegangen werden, mit der die heute anzuwendenden Grenzwerte als überschritten anzusehen sind.

Die im Anhang 3 im Jahr 1990 berichtete Zufuhr ist ein solcher Fall, bei dem eine längere Zeit zurückliegende unbekannte Zufuhr unter diesen konservativen Voraussetzungen abgeschätzt wurde.

Bei Messungen aus besonderem Anlaß werden neben Urinalysen auch Stuhlanalysen ausgeführt. In der letzten Zeit hat sich das Verhältnis der Urin- zu Stuhlanalysen im KfK deutlich zu einer verstärkten Zahl von Stuhlanalysen verändert. Dies ist im Anhang 1 ersichtlich. Auch die Zahl der überwachten Personen hat sich in Abhängigkeit von den Arbeitsschwerpunkten in den einzelnen Institutionen verändert. Die folgende Tabelle 3 zeigt dies zusammengefaßt:

		1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
KfK	Personen	301	291	262	376	398	452	470	186
	Urin	479	566	460	769	898	1001	1482	450
	Stuhl	350	140	130	283	265	247	324	833
EUR	Personen	193	229	131	223	226	235	262	242
	Urin	381	531	252	389	490	662	676	881
	Stuhl	17	42	4	6	6	88	96	90
WAK	Personen	363	251	283	342	303	378	335	374
	Urin	896	648	729	825	689	892	673	782
	Stuhl	53	155	102	36	100	51	10	42
ALKEM	Personen	393	478	352	518	351	134	140	117
Siemens	Urin	642	832	525	990	482	116	170	113
MOX	Stuhl	165	127	229	202	282	175	223	155
EURL	Personen	109	126	9	-	19	-	15	-
	Urin	218	306	17	-	40	-	0	-
	Stuhl	0	0	6	-	76	-	70	-
Nukem	Personen	740	464	163	45	16	40	9	9
	Urin	1542	573	165	58	19	246	48	30
	Stuhl	1	11	594	12	0	0	0	0
KWU	Personen	1	39	34	17	20	6	58	39
	Siemens	Urin	6	53	235	84	49	2	4

	stuhl	0	45	232	65	10	14	157	110
RBU	Personen	1	661	979	1193	276	317	291	466
Siemens	Urin	2	990	2081	2256	653	819	553	678
Uran	Stuhl	0	0	88	0	90	43	44	96
SAST	Personen	-	-	-	-	-	89	637	759
Siemens	Urin	-	-	-	-	-	67	724	957
	Stuhl	-	-	-	-	-	71	228	182
Summe	Personen	2101	2539	2213	3253	1609	1651	2217	2266
	Urin	4166	4499	4464	5371	3320	3805	4330	4148
	Stuhl	586	520	1385	604	829	689	1152	1508

Tabelle 3: Statistik der Gesamtanalysen in den Jahren 1985 bis 1992

4.3. Dosisbestimmung bei Messungen aus besonderem Anlaß

Die Beurteilung der Ergebnisse von Messungen aus besonderem Anlaß, die vom Tox.Labor ausgeführt wurden, sind bis 1989 nach der Richtlinie über die physikalische Strahlenschutzkontrolle [BMI 78] und der Berechnungsgrundlagen für die Ermittlung der Körperdosis [BMI 81] vorgenommen worden. Es wurde eine Zufuhr abgeschätzt, deren Höhe mit dem Grenzwert der Jahres-Aktivitäts-Zufuhr der Strahlenschutzverordnung [BMI 78] und später [BMI 89] verglichen wurde.

Es wurde dabei nicht der ermittelte Wert, sondern ein Bereich angegeben, in dem die abgeschätzte Zufuhr lag. Als Grenzen wurden die im Anhang 3 aufgeführten Bereiche von < 5%, > 5% bis < 50%, > 50% bis < 100%, > 100% bis < 200% und > 200 % benutzt, die sich aus den Konsequenzen der Strahlenschutzverordnung bezüglich erforderlicher Maßnahmen ergaben. Die Abschätzung wurde seit 1978 durch schriftliche Meldungen von der Medizinischen Abteilung/Toxikologisches Labor an die Strahlenschutzbeauftragten und die Strahlenschutzabteilung weitergegeben.

Mit Inkrafttreten der neuen Strahlenschutzverordnung [BMU 89] trat eine Änderung dieses Meldesystems ein. Nicht mehr die Medizinische Abteilung allein, sondern alle an der Inkorporationsüberwachung verantwortlichen Beteiligten (Tox.Labor, Ganzkörperzähler, Raumluftüberwachung) gaben die Beurteilung der Messungen aus besonderem Anlaß ab. Zu diesem Zweck wurde ein Formblatt entwickelt, in dem seit 1991 die einzelnen Ergebnisse der Messungen dokumentiert und gemeinsam bewertet werden (siehe Anhang 6).

Dabei wurde von der Einordnung in die bisherigen Bereiche der Zufuhr abgegangen und stattdessen die in der Strahlenschutzverordnung vorgeschriebene Bestimmung der Zufuhr und der daraus resultierenden effektiven Körperäquivalent- und Organdosis übergegangen. Lediglich die Dosiswerte werden nach Abschluß der Messungen und gemeinsamer Bewertung durch die drei Meßstellen dem Strahlenschutzbeauftragten und der zentralen Dosiskartei übermittelt. Im Anhang 3 sind zur Wahrung der Kontinuität der Darstellung im Berichtszeitraum noch die vorher benutzten Bereiche der Zufuhr aufgeführt.

Die Abschätzung der Zufuhr und die Berechnung der effektiven Körperdosis nach einer einmaligen Zufuhr von Pu-Verbindungen wurde im Berichtszeitraum mit Hilfe eines Rechenprogramms RETEX [He 87] aus den ermittelten Ergebnissen der Urin- und Stuhl-Analysen vorgenommen. Es hat als Grundlage die Daten, die in der Loseblattsammlung des Fachverbands für Strahlenschutz e.V. [Gü 87] enthalten sind und auf den Daten der ICRP [ICRP 79] beruhen.

Aus den Ergebnissen der Ausscheidungsanalysen wird im Einzelfall die Zufuhr berechnet und mit den Dosisfaktoren [BU 89] die effektive Körperäquivalentdosis sowie die Knochenoberflächendosis berechnet.

Diese Ergebnisse werden in der zentralen Dosiskartei bei HS mit den Ergebnissen der externen Dosimetrie zusammengefaßt und bieten erst dann die Möglichkeit zur künftigen Ermittlung der Berufslebensdosis.

4.4. Ermittlung der Berufslebensdosis

Die Berufslebensdosis wurde bis 1989 durch Addition der gemessenen externen und soweit verfügbar der internen Dosis ermittelt. Bis zu dieser Zeit blieben dabei Inkorporationen unter 5 % der Zufuhr-Werte unberücksichtigt.

Jetzt muß auch die interne Dosis ermittelt werden, weil sichergestellt werden muß, daß die Gesamt-Berufslebensdosis nach der Strahlenschutzverordnung 400 mSv nicht überschreitet. Aus diesem Grunde mußte nachträglich diese Dosis an Hand der vorliegenden Meßwerte ermittelt werden. Dies betraf im KfK etwa 330 Personen. Grundlage dafür waren die in der ADABAS-Datei vollständig vorliegenden Daten, sowie die Ergebnisse der Raumlufüberwachung und der Ganzkörpermessungen.

Als problematisch erwies sich dabei die unzulängliche Beurteilungsmöglichkeit der Meßergebnisse der Plutonium-Überwachung im Urin, die in den vorliegenden Jahren zum größten Teil Werte hatten, die unter der "Nachweisgrenze TOX" des Analyseverfahrens lagen.

Sie bieten zwar (wie dies bei Durchführung der Überwachung vorgesehen war) eine Aussage darüber, daß keine unzulässigen Zufuhren und Dosiswerte oberhalb der zu der damaligen Zeit gültigen Grenzwerte aufgetreten sind, können aber heute nicht zur Bestimmung einer darunter liegenden Zufuhr benutzt werden.

Die Bestimmung der Berufslebensdosis wurde daher für jeden Einzelfall durch einzelne Beurteilung der Ergebnisse der Ausscheidungsanalysen, der Ganzkörpermessungen und der vorliegenden Raumlufmessungen vorgenommen. Dabei gaben nur die Meßergebnisse aus besonderem Anlaß und die Ergebnisse der Raumlufmessungen verläßliche Resultate.

Die Berechnungen sind für ca. 300 Personen abgeschlossen, für ca. 30 Personen sind noch zusätzliche Nachmessungen erforderlich.

Am Zustandekommen dieses Berichts haben folgende Personen des Toxikologischen Labors wesentlichen Beitrag geleistet, wofür ihnen abschließend herzlicher Dank gesagt werden soll:

Ute Fokken, Klaus Geisert, Doris Hees, Edeltraud Kindler, Lilia Missal, Marlene Pfeifenroth, Ingrid Schappals, Lothar Widua.

5. Literatur

- [An 91] R.Anton, P.Müller, B.Sohnius, H.Schieferdecker
Praktische Anwendung von Dosisberechnungsmodellen beim
Decommissioning eines Tritiumlabors
Jahrestagung Kerntechnik 91, Bonn 14.16.Mai 1991,
Kerntechnische Ges.e.V. Deutsches Atomforum e.V.
Bonn: INFORUM 1991 S.483-486

- [BMI 76] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung- StrlSchV) v.13.10.1976, StrlSchV 77
BGBl.Teil 1, Nr.125, S.2905-2995 mit Berichtigung v.21.1.1977, BGBl.Teil 1, Nr.6, S.184-195 mit Berichtigung v. 2.2.1977, BGBl.Teil 1, Nr.9, S.269
- [BMI 78] Bundesminister des Innern
Richtlinie über die physikalische Strahlenschutzkontrolle (§§ 62 und 63 StrSchV) GMBL.1978,Nr.22,348-354
- [BMI 81] Bundesminister des Innern
Berechnungsgrundlage für die Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition (Richtlinie zu § 63 der StrlSchV) GMBL.1981,Nr.23,321-336
- [BMI 85] Bundesministerium des Innern
Anlage zum Schreiben des BMI vom 12.März 1985
RS II 3 - 515 260/3
- [BMI 89] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen(Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) v. 30.6.89
BGBl.Teil 1, (1989) Nr.34, S.1321-1375
- [BMU 93] Bundesministerium für Umwelt
Richtlinie Physikalische Strahlenschutzkontrolle Entwurf 1993
- [BU 89] Bekanntmachung der Tabelle IV 1 und der Dosisfaktoren
Bundesanzeiger 41 (1989) Nr.185a vom 30.Sept.1989
- [Bun 89] K.Bunzl,H.Dilger,H.Doerfel,I.Gans,B.Grosche,R.Haubelt,W.Jacobi
A.Kaul, D.Nosske, H.Schieferdecker, C.Streffer
Strahlenexposition und Strahlengefährdung durch Plutonium
Eine radiologische Bewertung des Plutoniums durch die Strahlenschutzkommission
Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Band 14
Gustav Fischer Verlag 1989
- [Cu 68] L.A.Curie
Limits of Qualitative Detection on Quantitative Determination
Application to Radiochemistry
Analytical Chemistry Vol.40, No.3, March 1968, 586-593
deutsche Übersetzung:
G.Kronimus (Bearbeiter: H.Schieferdecker, L.Widua)
Grenzen für den qualitativen Nachweis und die quantitative Bestimmung
Anwendung in der Radiochemie
KFK-tr-460 (1968)
- [Di 86] H.Dilger,H.Doerfel,H.Schieferdecker
Comparison of Various Methods at Routine Monitoring for Plutonium Incorporation at a Waste Management Facility
Radiation Protection Dosimetry 15 (1986) 167-175
- [Di 89] H.Dilger, H.Doerfel, H.Schieferdecker
Anwendung verschiedener Meßverfahren zur Optimierung der Inkorporationsüberwachung
in: [Koe 89] S.136-162

- [Di 92] H.Dilger
in: W.Koelzer (Red.)
Jahresbericht 1992 der Hauptabteilung Sicherheit
KfK 5130 (April 1993) S.59-60
- [DI 94] H.Dilger, H.Doerfel, H.Schieferdecker
Inkorporationsüberwachung von Plutonium und Americium durch
Messungen der Aktivitätskonzentration in der Luft und der Akti-
vität der Ausscheidungen
26.Jahrestagung Fachverband für Strahlenschutz e.V., Karlsruhe
1994 (in Vorbereitung)
- [DIN 91] Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrah-
lungsmessungen
Zählende Messungen mit Berücksichtigung des Proben-
behandlungs- und Geräteinflusses
DIN 25 482 Teil 6, Februar 93
- [ICRP 79] Limits for Intakes of Radionuclides by Workers (ICRP Publ.30)
Annals of the ICRP:
Vol.2, No.3/4 (1979), Part 1
Vol.6, No.2/3 (1981), Part3, incl.Addendum to Parts 1 + 2
Vol.3, No.1-4 (1979), Suppl. to Part 1 Pergamon Press
- [Gr 92] H.W.Graffunder
H3DOS / Tritium-Dosisberechnung
1992, Rev.4/93
- [Gü 87] R.Güldner, D.Beyer, K.Buijs, W.Burkart, H.Dilger, H.Doerfel,
K.Henrichs, H.Schieferdecker, W.Wagner, V.Volf
Inkorporationsüberwachung auf Plutonium
Loseblattsammlung des Arbeitskreises Inkorporations-
überwachung
im Fachverband für Strahlenschutz e.V.
FS-87-45-AKI November 1987
- [He 89] K.Henrichs
RETEX Retention und Ausscheidung inkorporierter Radioaktivität
Rechenprogramm Version 5.2 (Dr.H.Schieferdecker) Stand 17.11.89
- [Koe 89] W.Koelzer (Red.)
Plutonium
KfK 4516 (März 1989)
- [Ob 90] M.Oberhofer
CEC Ispra
private Mitteilung 1990
- [Schi 79] H.Schieferdecker
Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung durch Ausschei-
dungsanalysen im Kernforschungszentrum Karlsruhe in den
Jahren 1975 bis 1978
KfK 2799 B (Juli 1979)
- [Schi85a] H.Schieferdecker
Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung durch Ausschei-
dungsanalysen im Kernforschungszentrum Karlsruhe in den
Jahren 1979 bis 1984
KfK 3826 B (Oktober 1985)

- [Schi85b] H.Schieferdecker, H.Dilger, H.Doerfel, W.Rudolph, R.Anton
Inhalation of U Aerosols from UO₂ Fuel Element Fabrication
Health Physics 48 (1985) 833-838
- [Schi 88] H.Schieferdecker, H.Dilger
Anwendung des Lungenmodells der ICRP zur Inkorporations-
überwachung radioaktiver Stoffe
Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 8,
Gustav-Fischer-Verlag (1988) 285-305
- [Schi 89] H.Schieferdecker, H.Dilger, H.Doerfel
Practical Experience Accumulated at the Karlsruhe Nuclear
Research Center in Detecting Incorporated Plutonium
Radiation Protection Dosimetry 26 (1989) 177-182
- [Schi 90] H.Schieferdecker, L.Aldea, H.Dilger, E.Günther, K.Henrichs,
M.A.Kim, L.Widua
Inkorporationsüberwachung auf Tritium
Loseblattsammlung/Arbeitskreis Inkorporationüberwachung (AKI)
Fachverband für Strahlenschutz e.V.
FS-90-49-AKI (März 1990)
- [Schi 91] H.Schieferdecker
Methoden zur Ermittlung der Körperdosis bei Inkorporation von Pu
in: J.Hacke, A.Kaul, W.Kraus, R.Neider, H.Rühle
Kompendium der Sommerschule Strahlenschutz 2.Auflage 1991
H.Hoffmann Verlag Berlin 1991
- [Schi 93] H.Schieferdecker et al.
Nachweisgrenze im low-level-Bereich (KfK in Vorbereitung)
- [Ta 93] H.Tachlinski
KfK HS/AS
private Mitteilung 1993
- [Wi 82] L.Widua, H.Schieferdecker
Anwendung von Flüssigextraktionsverfahren bei der Inkor-
porationsüberwachung auf Np, Pu, Am, Cm und Cf
KfK 3370 B (Oktober 1982)

Verzeichnis der Anhänge

- Anhang 1: Statistik der Gesamtanalysen in den Jahren 1985 bis 1992
- Anhang 2: Häufigkeit der Gesamtanalysen in den Jahren 1985 bis 1992
- Anhang 3: Verteilung der in den Jahren 1985 bis 1992 aus besonderem
Anlaß ausgeführten Analysen
- Anhang 4: Verzeichnis der benutzten Abkürzungen
- Anhang 5: Beschreibung der Analysenverfahren
- Anhang 6: Formblatt zur Dosisermittlung bei Messungen aus besonderem
Anlaß

Anhang 1: Statistik der Gesamtanalysen in den Jahren 1985 bis 1992

STATISTIK DER GESAMTANALYSEN IM JAHR 1985

ARB	ANZ	NA	UR	ST	BL	GE	MU	WA	SO	ANZAHL
STEL	PERS									ANALYS
KfK	301	21	479	350	0	0	0	0	0	850
EUR	193	1	381	17	0	0	0	0	0	399
KBG	37	0	334	0	0	0	0	0	0	334
WAK	363	8	896	53	0	0	0	0	1	958
ALKM	393	0	642	165	2	0	0	0	0	809
EURL	109	0	218	0	0	0	0	0	0	218
KWU	1	0	6	0	0	0	0	2	0	8
NUKM	740	0	1542	1	0	0	0	0	0	1543
RBU	1	0	2	0	0	0	0	0	0	2
FRMD	22	0	45	14	0	0	0	0	0	71
SUM	2160	30	4557	600	2	0	0	2	1	5192

STATISTIK DER GESAMTANALYSEN IM JAHR 1986

ARB	ANZ	NA	UR	ST	BL	GE	MU	WA	SO	ANZAHL
STEL	PERS									ANALYS
KfK	291	11	566	140	0	0	0	0	0	717
EUR	229	3	531	42	0	0	0	0	0	576
KBG	31	0	298	0	0	0	0	0	0	298
WAK	251	8	648	155	0	0	0	0	0	811
ALKM	478	0	832	127	5	0	0	0	0	964
EURL	126	0	306	0	0	0	0	0	0	306
GKN	41	0	41	0	0	0	0	0	0	41
KWU	39	0	53	45	0	0	0	0	0	98
NUKM	464	0	573	11	0	0	0	0	0	584
RBU	661	0	990	0	0	0	0	0	0	990
FRMD	18	0	52	45	0	0	0	0	0	114
SUM	2586	22	4907	565	5	0	0	0	0	5499

STATISTIK DER GESAMTANALYSEN IM JAHR 1987

ARB	ANZ	NA	UR	ST	BL	GE	MU	WA	SO	ANZAHL
STEL	PERS									ANALYS
KfK	262	12	460	130	0	0	0	0	0	602
EUR	131	1	252	4	0	0	0	0	0	257
KBG	43	0	376	0	0	0	0	0	0	376
WAK	283	4	729	102	2	2	0	0	2	841
ALKM	352	0	525	229	0	0	0	0	0	754
ECN	1	0	0	6	0	0	0	0	0	6
EURL	9	0	17	6	0	0	0	0	0	23
KWU	34	0	235	232	0	0	0	0	0	467
NUKM	163	0	165	594	0	0	0	0	0	759
RBU	979	0	2081	88	0	0	0	0	0	2174
SOGE	15	0	32	70	0	0	0	0	0	102
FRMD	13	0	21	21	0	0	0	0	0	42
SUM	2284	17	4893	1476	2	7	0	0	2	6397

STATISTIK DER GESAMTANALYSEN IM JAHR 1988

ARB	ANZ	NA	UR	ST	BL	GE	MU	WA	SO	ANZAHL
STEL	PERS									ANALYS
KfK	376	33	769	283	0	0	0	0	0	1085
EUR	223	1	389	6	0	0	0	0	0	396
KBG	41	0	286	0	0	0	0	0	0	286
WAK	342	2	825	36	0	0	0	0	0	863
ALKM	518	0	990	202	20	7	0	0	2	1221
KWU	17	0	84	65	0	0	0	0	0	149
NUKM	45	0	58	12	0	0	0	0	0	70
RBU	1193	0	2256	0	0	0	0	0	0	2263
SOGE	13	0	0	15	0	0	0	0	0	15
FRMD	12	0	18	8	0	0	0	0	0	26
SUM	2780	36	5675	634	20	7	0	0	2	6374

STATISTIK DER GESAMTANALYSEN IM JAHR 1989

ARB	ANZ	NA	UR	ST	BL	GE	MU	WA	SO	ANZAHL
STEL	PERS									ANALYS
KfK	398	27	898	265	0	0	0	0	0	1190
KBG	35	0	119	0	0	0	0	0	0	119
TU	226	0	490	6	0	0	0	0	0	496
WAK	303	3	689	100	0	0	0	0	0	792
ALKM	351	0	482	282	0	5	0	0	0	769
EURL	19	0	40	76	0	0	0	0	0	116
KWU	20	0	49	10	2	0	0	0	0	61
NUKM	16	0	19	0	0	0	0	0	0	19
RBU	276	0	653	90	0	0	0	0	2	745
SOGE	22	0	0	34	0	0	0	0	0	34
FRMD	15	0	23	9	0	0	0	0	0	32
SUM	1681	30	3462	872	2	5	0	0	2	4373

STATISTIK DER GESAMTANALYSEN IM JAHR 1990

ARB	ANZ	NA	UR	ST	BL	GE	MU	WA	SO	ANZAHL
STEL	PERS									ANALYS
KfK	452	16	1001	247	0	0	0	0	0	1264
KBG	49	0	214	0	0	0	0	0	0	214
TU	235	4	662	88	1	0	0	0	0	755
WAK	378	1	892	51	0	0	0	0	0	944
ALKM	134	0	116	175	0	0	0	0	0	291
KWU	6	0	2	14	0	0	0	0	0	16
NUKM	40	0	246	0	0	0	0	0	0	246
RBU	317	0	819	43	0	5	0	0	0	867
SAST	89	0	67	71	0	0	0	0	0	138
SOGE	7	0	0	7	0	0	0	0	0	7
FRMD	5	0	6	0	0	0	0	0	0	6
SUM	1712	21	4025	696	1	5	0	0	0	4748

STATISTIK DER GESAMTANALYSEN IM JAHR 1991

ARB	ANZ	NA	UR	ST	BL	GE	MU	WA	SO	ANZAHL
STEL	PERS									ANALYS
KfK	470	31	1482	324	2	0	0	0	0	1839
KBG	46	0	292	0	0	0	0	0	0	292
TU	262	5	676	96	0	0	0	0	0	777
WAK	335	1	673	10	0	0	0	0	0	684
ALKM	140	0	170	223	0	0	0	0	0	393
EURL	15	0	0	70	0	0	0	0	0	70
KWU	58	0	4	157	0	0	0	0	0	161
NUKM	9	0	48	0	0	0	0	0	0	48
RBU	291	0	553	44	0	0	0	0	0	607
SAST	637	0	724	228	0	0	0	0	0	952
SOGE	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1
FRMD	9	0	23	19	0	5	0	0	0	47
SUM	2273	37	4655	1172	2	5	0	0	0	5871

STATISTIK DER GESAMTANALYSEN IM JAHR 1992

ARB	ANZ	NA	UR	ST	BL	GE	MU	WA	SO	ANZAHL
STEL	PERS									ANALYS
KfK	186	28	450	833	0	0	0	0	0	1311
KBG	41	0	257	0	0	0	0	0	0	257
TU	242	14	881	90	0	0	0	0	0	985
WAK	374	3	782	42	0	0	0	0	0	827
ALKM	117	0	113	155	0	0	0	0	0	268
KWU	39	0	0	110	0	0	0	0	0	110
NUKM	9	0	30	0	0	0	0	0	0	30
RBU	466	0	678	96	0	0	0	0	0	774
SAST	759	0	957	182	0	0	0	0	0	1139
FRMD	33	0	31	31	0	0	0	0	0	62
SUM	2266	45	4179	1539	0	0	0	0	0	5763

Anhang 2: Häufigkeit der Gesamtanalysen in den Jahren 1985 bis 1992

HAEUFIGKEIT DER GESAMTANALYSEN IM JAHR 1985

NUKLID	INSTITUT	ANZ ARBST	HAEUF PERS.	HAEUF 1X	HAEUF 2X	HAEUF >2X	ANZAHL ANALYSEN	ANZAHL		
								= KfK	+GAST	+FRMD
ALA	KfK	1	1	1	0	0	1			
ALA	FRMD	1	0	0	0	1	3			
SUMMEN		2	1	1	0	1	4 =	1 +	0 +	3
ALFA	KfK	18	15	3	0	0	21			
ALFA	EUR	1	1	0	0	0	1			
ALFA	WAK	7	6	0	0	1	9			
SUMMEN		26	22	3	0	1	31 =	21 +	10 +	0
AM	KfK	42	8	6	0	28	189			
AM	ALKM	1	0	0	0	1	25			
AM	EUR	4	3	0	0	1	6			
AM	WAK	10	4	1	0	5	43			
AM	FRMD	3	2	0	0	1	5			
SUMMEN		60	17	7	0	36	268 =	189 +	49 +	30
H-3	KfK	8	8	0	0	0	8			
H-3	KBG	37	5	6	0	26	334			
H-3	NUKM	6	4	0	0	2	22			
H-3	WAK	10	0	10	0	0	20			
H-3	FRMD	7	4	3	0	0	10			
SUMMEN		68	21	19	0	28	394 =	8 +	32 +	354
NP	KfK	1	1	0	0	0	1			
NP	EUR	1	1	0	0	0	1			
NP	FRMD	2	2	0	0	0	2			
SUMMEN		4	4	0	0	0	4 =	1 +	1 +	2
PO	KfK	1	1	0	0	0	1			
PO	FRMD	1	0	0	0	1	3			
SUMMEN		2	1	0	0	1	4 =	1 +	0 +	3
PU	KfK	268	223	7	0	38	574			
PU	ALKM	370	190	137	0	43	725			
PU	EUR	193	139	45	0	9	268			
PU	EURL	109	109	0	0	0	109			
PU	WAK	363	299	54	0	10	478			
PU	FRMD	3	1	1	0	1	6			
SUMMEN		1306	961	244	0	101	2160 =	574 +	746 +	840
T-PU	KfK	22	20	0	0	2	32			
T-PU	EUR	83	61	17	0	5	121			
T-PU	WAK	1	0	0	0	1	6			
SUMMEN		106	81	17	0	8	159 =	32 +	127 +	0
TH-A	FRMD	8	8	0	0	0	5			
SUMMEN		8	8	0	0	0	8 =	0 +	0 +	8
TH28	FRMD	4	1	1	0	2	9			
SUMMEN		4	1	1	0	2	9 =	0 +	0 +	9
U	KfK	16	16	0	0	0	16			
U	ALKM	46	35	9	0	2	59			

U	EUR	2	2	0	0	2
U	EURL	109	109	0	0	109
U	NUKM	594	168	334	92	1220
U	WAK	358	318	40	0	398
SUMMEN		1125	648	383	94	1804 = 16 + 400 +1388

U-AN	KfK	15	13	2	0	17
U-AN	KWU	1	0	0	1	8
U-AN	NUKM	152	64	75	13	303
U-AN	WAK	1	0	0	1	4
U-AN	FRMD	4	0	0	4	15
SUMMEN		173	77	77	19	347 = 17 + 4 + 326

GESAMTANZAHL ALLER ANALYSEN: 5192 = 860 +1369 +2963
 DAVON ALPHA-ANALYSEN: 2990 = 851 + 969 +1218

 HAEUFIGKEIT DER GESAMTANALYSEN IM JAHR 1986

NUKLID	INSTITUT	ANZ ARBST	HAEUF			ANZAHL ANALYSEN =	ANZAHL		
			PERS.	1X	2X		>2X	KfK	+GAST
ALFA	KfK	11	11	0	0	11			
ALFA	EUR	3	3	0	0	3			
ALFA	WAK	8	8	0	0	8			
SUMMEN		22	22	0	0	22 =	11 +	11 +	0
AM	KfK	45	15	15	15	154			
AM	ALKM	7	1	1	5	33			
AM	EUR	1	1	0	0	1			
AM	KBG	1	0	1	0	2			
AM	KWU	3	0	0	3	15			
AM	WAK	40	4	12	24	141			
AM	FRMD	3	0	1	2	31			
SUMMEN		100	21	30	49	377 =	154 +	144 +	79
BETA	KfK	1	1	0	0	1			
SUMMEN		1	1	0	0	1 =	1 +	0 +	0
H-3	KfK	64	44	12	8	101			
H-3	KBG	31	9	3	19	294			
H-3	NUKM	6	0	3	3	32			
H-3	WAK	2	2	0	0	2			
H-3	FRMD	43	41	2	0	45			
SUMMEN		146	96	20	30	474 =	101 +	296 +	77
NP	KfK	1	1	0	0	1			
SUMMEN		1	1	0	0	1 =	1 +	0 +	0
PO	KfK	1	0	0	1	3			
SUMMEN		1	0	0	1	3 =	3 +	0 +	0
PU	KfK	243	188	35	21	405			
PU	ALKM	471	240	175	56	849			
PU	EUR	229	152	62	15	361			
PU	EURL	126	99	27	0	153			
PU	KBG	1	0	1	0	2			
PU	KWU	3	3	0	0	3			
PU	WAK	247	202	13	32	416			
PU	FRMD	3	0	1	1	11			

SUMMEN		1323	884	314	125	2200 = 405 + 779 + 1016
T-PU	KfK	2	1	1	0	3
T-PU	EUR	110	61	36	13	210
T-PU	KWU	38	0	37	1	78
T-PU	WAK	2	0	0	2	9
T-PU	FRMD	1	0	0	1	10
SUMMEN		153	62	74	17	310 = 3 + 219 + 88
TH-A	FRMD	9	2	4	3	20
SUMMEN		9	2	4	3	20 = 0 + 0 + 20
TH28	NUKM	4	0	0	4	13
TH28	FRMD	4	0	0	4	20
SUMMEN		8	0	0	8	33 = 0 + 0 + 33
U	KfK	28	26	1	1	32
U	ALKM	72	65	6	1	80
U	EUR	1	1	0	0	1
U	EURL	126	99	27	0	153
U	NUKM	416	355	32	29	537
U	RBU	577	407	141	29	809
U	WAK	221	214	6	1	229
U	FRMD	2	1	0	1	4
SUMMEN		1443	1168	213	62	1845 = 32 + 230 + 1583
U-AN	KfK	5	4	1	0	6
U-AN	ALKM	1	0	1	0	2
U-AN	KWU	1	0	1	0	2
U-AN	NUKM	1	0	1	0	2
U-AN	RBU	88	9	67	12	181
U-AN	WAK	4	2	2	0	6
U-AN	FRMD	5	0	1	4	14
SUMMEN		105	15	74	16	213 = 6 + 6 + 201

GESAMTANZAHL ALLER ANALYSEN: 5499 = 717 + 1685 + 3097
 DAVON ALPHA-ANALYSEN: 3179 = 583 + 1159 + 1437

HAEUFIGKEIT DER GESAMTANALYSEN IM JAHR 1987

NUKLID	INSTITUT	ANZ ARBST	HAEUF			ANZAHL ANALYSEN	ANZAHL = KfK + GAST + FRMD
			PERS.	1X	2X		
ALFA	KfK	12	12	0	0	12	
ALFA	EUR	1	1	0	0	1	
ALFA	WAK	4	4	0	0	4	
SUMMEN		17	17	0	0	17	= 12 + 5 + 0
AM	KfK	12	6	1	5	41	
AM	ALKM	9	3	2	4	26	
AM	EURL	1	1	0	0	1	
AM	KWU	3	1	0	2	13	
AM	WAK	4	2	0	2	17	
AM	FRMD	1	0	1	0	2	
SUMMEN		30	13	4	13	100	= 41 + 17 + 42
F	RBU	47	35	4	8	77	
SUMMEN		47	35	4	8	77	= 0 + 0 + 77

H-3	KfK	24	11	6	7	56
H-3	KBG	43	5	1	37	374
H-3	NUKM	4	1	1	2	23
SUMMEN		71	17	8	46	453 = 56 + 374 + 23

PO	FRMD	5	3	1	1	8
SUMMEN		5	3	1	1	8 = 0 + 0 + 8

PU	KfK	237	203	15	19	370
PU	ALKM	345	212	82	51	639
PU	EUR	117	95	18	4	146
PU	EURL	9	8	0	1	11
PU	KBG	1	1	0	0	1
PU	KWU	7	2	0	5	78
PU	NUKM	72	4	4	64	342
PU	RBU	7	0	1	6	61
PU	WAK	282	239	34	9	420
PU	FRMD	19	1	1	17	77
SUMMEN		1096	765	155	176	2145 = 370 + 567 + 1208

T-PU	KfK	34	17	0	17	117
T-PU	EUR	75	59	9	7	106
T-PU	EURL	3	2	0	1	5
T-PU	KBG	1	1	0	0	1
T-PU	KWU	30	1	9	20	370
T-PU	NUKM	72	4	6	62	288
T-PU	RBU	6	0	0	6	37
T-PU	WAK	15	10	0	5	100
T-PU	FRMD	15	0	2	13	51
SUMMEN		251	94	26	131	1075 = 117 + 207 + 751

TH-A	FRMD	2	0	2	0	4
TH-A	RBU	3	3	0	0	3
SUMMEN		5	3	2	0	7 = 0 + 0 + 7

TH28	KWU	2	2	0	0	2
TH28	RBU	2	2	0	0	2
TH28	FRMD	1	0	1	0	2
SUMMEN		5	4	1	0	6 = 0 + 0 + 6

U	KfK	3	1	1	1	6
U	ALKM	79	69	10	0	89
U	EURL	6	6	0	0	6
U	NUKM	85	76	8	1	95
U	RBU	868	340	398	130	1793
U	WAK	267	235	32	0	299
SUMMEN		1308	727	449	132	2288 = 6 + 299 + 1983

U-AN	EUR	4	4	0	0	4
U-AN	KWU	3	2	1	0	4
U-AN	NUKM	9	7	2	0	11
U-AN	RBU	114	39	65	10	201
U-AN	WAK	1	1	0	0	1
SUMMEN		131	53	68	10	221 = 0 + 5 + 216

GESAMTANZAHL ALLER ANALYSEN: 6397 = 602 + 1474 + 4321
 DAVON ALPHA-ANALYSEN: 3579 = 540 + 801 + 2238

HAEUFIGKEIT DER GESAMTANALYSEN IM JAHR 1988

NUKLID	INSTITUT	ANZ ARBST	HAEUF			ANZAHL ANALYSEN	ANZAHL		
			PERS.	1X	2X		>2X	= KfK	+GAST
ALFA	KfK	32	31	1	0	33			
ALFA	EUR	1	1	0	0	1			
ALFA	WAK	2	2	0	0	2			
SUMMEN		35	34	1	0	36	= 33	+ 3	+ 0
AM	KfK	23	11	0	12	121			
AM	ALKM	5	2	2	1	90			
AM	EUR	1	1	0	0	1			
AM	FRMD	2	0	0	2	11			
SUMMEN		31	14	2	15	223	= 121	+ 1	+ 101
H-3	KfK	26	18	8	0	34			
H-3	KBG	39	6	3	30	282			
H-3	NUKM	5	4	0	1	7			
H-3	FRMD	6	5	1	0	7			
SUMMEN		76	33	12	31	330	= 34	+ 282	+ 14
PU	KfK	346	274	39	33	649			
PU	ALKM	511	277	191	43	967			
PU	EUR	212	149	52	11	293			
PU	KBG	2	2	0	0	2			
PU	NUKM	2	0	0	2	6			
PU	RBU	125	125	0	0	125			
PU	WAK	342	288	46	8	431			
PU	FRMD	14	11	2	1	19			
SUMMEN		1554	1126	330	98	2492	= 649	+ 726	+ 1117
T-PU	KfK	71	49	1	21	223			
T-PU	ALKM	3	2	0	1	8			
T-PU	EUR	70	54	10	6	98			
T-PU	KBG	2	2	0	0	2			
T-PU	KWU	3	0	0	3	118			
T-PU	NUKM	2	0	0	2	6			
T-PU	RBU	1	0	0	1	15			
T-PU	WAK	10	6	0	4	42			
SUMMEN		162	113	11	38	512	= 223	+ 142	+ 147
TH-A	KfK	2	0	0	2	18			
TH-A	KWU	5	3	0	2	14			
TH-A	FRMD	2	2	0	0	2			
SUMMEN		9	5	0	4	34	= 18	+ 0	+ 16
U	KfK	6	6	0	0	6			
U	ALKM	129	107	22	0	151			
U	EUR	3	3	0	0	3			
U	KWU	1	1	0	0	1			
U	NUKM	31	22	9	0	40			
U	RBU	1172	517	551	104	1956			
U	WAK	338	290	47	1	387			
SUMMEN		1680	946	629	105	2544	= 6	+ 390	+ 2148
U-AN	KfK	1	1	0	0	1			
U-AN	ALKM	5	5	0	0	5			
U-AN	KWU	13	11	1	1	16			
U-AN	NUKM	11	11	0	0	11			

U-AN	RBU	113	87	15	11	167
U-AN	WAK	1	1	0	0	1
U-AN	FRMD	2	2	0	0	2
SUMMEN		146	118	16	12	203 = 1 + 1 + 201

GESAMTANZAHL ALLER ANALYSEN: 6374 = 1085 + 1545 + 3744
 DAVON ALPHA-ANALYSEN: 3500 = 1045 + 873 + 1582

 HAEUFIGKEIT DER GESAMTANALYSEN IM JAHR 1989

NUKLID	INSTITUT	ANZ ARBST	HAEUF			ANZAHL ANALYSEN = KfK + GAST + FRMD
			1X	2X	>2X	
ALFA	KfK	27	27	0	0	27
ALFA	WAK	3	3	0	0	3
SUMMEN		30	30	0	0	30 = 27 + 3 + 0
AM	KfK	10	10	0	0	10
AM	EURL	10	1	9	0	19
AM	KWU	3	2	0	1	5
AM	TU	3	3	0	0	3
SUMMEN		26	16	9	1	37 = 10 + 3 + 24
H-3	KfK	41	27	3	11	98
H-3	KBG	35	7	6	22	119
H-3	NUKM	4	3	0	1	7
H-3	WAK	2	2	0	0	2
SUMMEN		82	39	9	34	226 = 98 + 121 + 7
NP	TU	3	3	0	0	3
SUMMEN		3	3	0	0	3 = 0 + 3 + 0
PU	KfK	357	298	20	39	615
PU	ALKM	336	273	36	27	492
PU	EURL	19	7	5	7	53
PU	KWU	2	1	0	1	5
PU	RBU	24	23	1	0	25
PU	TU	203	151	44	8	271
PU	WAK	282	249	19	14	400
PU	FRMD	25	13	7	5	48
SUMMEN		1248	1015	132	101	1909 = 615 + 671 + 623
T-PU	KfK	192	145	9	38	424
T-PU	ALKM	8	2	2	4	48
T-PU	EURL	13	6	0	7	34
T-PU	KWU	5	4	0	1	8
T-PU	TU	144	94	32	18	219
T-PU	WAK	22	7	8	7	96
T-PU	FRMD	1	0	0	1	6
SUMMEN		385	258	51	76	835 = 424 + 215 + 96
U	KfK	12	12	0	0	12
U	ALKM	25	25	0	0	25
U	EURL	10	10	0	0	10
U	NUKM	3	3	0	0	3
U	RBU	96	94	2	0	98
U	WAK	270	263	7	0	277
SUMMEN		416	407	9	0	425 = 12 + 277 + 136

U-AN	KfK	2	1	0	1	4
U-AN	ALKM	199	194	5	0	204
U-AN	KWU	13	4	0	9	43
U-AN	NUKM	9	9	0	0	9
U-AN	RBU	245	159	16	70	622
U-AN	TU	1	1	0	0	1
U-AN	WAK	14	14	0	0	14
U-AN	FRMD	12	12	0	0	12
SUMMEN		495	394	21	80	909 = 4 + 15 + 890

GESAMTANZAHL ALLER ANALYSEN: 4374 =1190 +1408 +1776
 DAVON ALPHA-ANALYSEN: 3723 =1080 +1010 +1633

 HAEUFIGKEIT DER GESAMTANALYSEN IM JAHR 1990

NUKLID	INSTITUT	ANZ ARBST	HAEUF			ANZAHL ANALYSEN	ANZAHL		
			PERS.	1X	2X		>2X	= KfK	GAST
ALFA	KfK	16	16	0	0	16			
ALFA	TU	4	4	0	0	4			
ALFA	WAK	1	1	0	0	1			
SUMMEN		21	21	0	0	21 =	16 +	5 +	0
AM	KfK	8	8	0	0	8			
AM	KWU	3	2	0	1	7			
SUMMEN		11	10	0	1	15 =	8 +	0 +	7
C-14	FRMD	1	1	0	0	1			
SUMMEN		1	1	0	0	1 =	0 +	0 +	1
H-3	KfK	21	20	0	1	24			
H-3	KBG	48	14	8	26	212			
H-3	NUKM	40	3	11	26	246			
H-3	FRMD	4	4	0	0	4			
SUMMEN		113	41	19	53	486 =	24 +	216 +	246
NP	KfK	2	2	0	0	2			
SUMMEN		2	2	0	0	2 =	2 +	0 +	0
P-32	KfK	1	1	0	0	1			
SUMMEN		1	1	0	0	1 =	1 +	0 +	0
PU	KfK	430	323	84	23	667			
PU	ALKM	109	81	12	16	178			
PU	KBG	1	1	0	0	1			
PU	KWU	3	2	1	0	4			
PU	RBU	38	36	2	0	40			
PU	SAST	65	60	4	1	71			
PU	TU	236	145	70	21	423			
PU	WAK	356	286	59	11	468			
PU	FRMD	7	7	0	0	7			
SUMMEN		1245	941	232	72	1859 =	667 +	892 +	300
S-35	FRMD	1	1	0	0	1			
SUMMEN		1	1	0	0	1 =	1 +	0 +	0
T-PU	KfK	325	235	68	22	535			
T-PU	ALKM	15	9	2	4	32			
T-PU	KBG	1	1	0	0	1			

T-PU	KWU	2	0	2	0	4
T-PU	TU	131	56	51	24	310
T-PU	WAK	6	2	0	4	36
SUMMEN		480	303	123	54	918 = 535 + 347 + 36

TH-A	ALKM	15	15	0	0	15
TH-A	TU	3	0	0	3	18
SUMMEN		18	15	0	3	33 = 0 + 18 + 15

U	WAK	377	316	60	1	439
SUMMEN		377	316	60	1	439 = 0 + 439 + 0

U-AN	KfK	5	2	0	3	11
U-AN	ALKM	66	66	0	0	66
U-AN	KWU	1	1	0	0	1
U-AN	RBU	295	109	39	147	827
U-AN	SAST	47	27	20	0	67
SUMMEN		414	205	59	150	972 = 11 + 0 + 961

GESAMTANZAHL ALLER ANALYSEN: 4748 =1265 +1917 +1566
 DAVON ALPHA-ANALYSEN: 3820 =1239 +1262 +1319

 HAEUFIGKEIT DER GESAMTANALYSEN IM JAHR 1991

NUKLID	INSTITUT	ANZ	HAEUF	HAEUF	HAEUF	ANZAHL
	ARBST	PERS.	1X	2X	>2X	ANALYSEN
ALFA	KfK	30	29	1	0	31
ALFA	TU	5	5	0	0	5
ALFA	WAK	1	1	0	0	1
SUMMEN		36	35	1	0	37 = 31 + 6 + 0
AM	KfK	6	6	0	0	6
AM	ALKM	2	0	1	1	20
AM	KWU	36	27	9	0	45
SUMMEN		44	33	10	1	71 = 6 + 0 + 65
C-14	FRMD	1	1	0	0	1
SUMMEN		1	1	0	0	1 = 0 + 0 + 1
H-3	KfK	4	1	1	2	11
H-3	KBG	46	10	5	31	292
H-3	NUKM	9	2	0	7	48
H-3	FRMD	3	3	0	0	3
SUMMEN		62	16	6	40	354 = 11 + 292 + 51
NP	KfK	1	0	1	0	2
NP	TU	23	20	3	0	26
SUMMEN		24	20	4	0	28 = 2 + 26 + 0
PU	KfK	465	316	103	46	899
PU	ALKM	110	85	9	16	203
PU	EURL	14	0	14	0	28
PU	KWU	57	39	14	4	80
PU	RBU	43	42	1	0	44
PU	SAST	194	169	14	11	232
PU	TU	260	183	58	19	440
PU	WAK	322	316	5	1	334

Pu	FRMD	6	1	1	4	32	
SUMMEN		1471	1151	219	101	2292	= 899 + 774 + 619
T-PU	KfK	455	308	101	46	883	
T-PU	ALKM	10	3	1	6	38	
T-PU	EURL	14	0	14	0	28	
T-PU	KWU	30	25	4	1	36	
T-PU	SAST	1	1	0	0	1	
T-PU	TU	119	66	36	17	272	
T-PU	WAK	7	6	0	1	14	
T-PU	FRMD	1	0	0	1	12	
SUMMEN		637	409	156	72	1284	= 883 + 115 + 286
TH-A	ALKM	14	13	1	0	15	
TH-A	EURL	14	14	0	0	14	
TH-A	SAST	6	6	0	0	6	
TH-A	TU	10	7	2	1	15	
SUMMEN		44	40	3	1	50	= 0 + 15 + 35
U	WAK	325	324	1	0	326	
SUMMEN		325	324	1	0	326	= 0 + 326 + 0
U-AN	KfK	4	1	3	0	7	
U-AN	ALKM	110	104	5	1	117	
U-AN	RBU	282	157	69	56	563	
U-AN	SAST	535	391	116	28	713	
U-AN	TU	19	19	0	0	19	
U-AN	WAK	7	5	2	0	9	
SUMMEN		957	677	195	85	1428	= 7 + 28 + 1393

GESAMTANZAHL ALLER ANALYSEN: 5871 = 1839 + 1582 + 2450
DAVON ALPHA-ANALYSEN: 5190 = 1828 + 964 + 2398

HAEUFIGKEIT DER GESAMTANALYSEN IM JAHR 1992

NUKLID	INSTITUT	ANZ ARBST	HAEUF			ANZAHL ANALYSEN	ANZAHL		
			PERS.	1X	2X		>2X	= KfK	+GAST

ALFA	KfK	26	24	2	0	28			
ALFA	TU	7	2	3	2	14			
ALFA	WAK	3	3	0	0	3			
SUMMEN		36	29	5	2	45	= 28	+ 17	+ 0
AM	ALKM	7	1	0	6	28			
AM	KWU	36	27	7	2	47			
AM	TU	2	2	0	0	2			
SUMMEN		45	30	7	8	77	= 0	+ 30	+ 47
H-3	KfK	11	4	2	5	49			
H-3	KBG	41	6	4	31	257			
H-3	NUKM	3	0	1	2	14			
H-3	FRMD	3	3	0	0	3			
SUMMEN		58	13	7	38	323	= 49	+ 257	+ 17
NP	KfK	1	0	0	1	3			
NP	TU	74	45	26	3	106			
NP	FRMD	1	1	0	0	1			
SUMMEN		76	46	26	4	110	= 3	+ 106	+ 1

PU	KfK	174	36	86	52	618
PU	TU	242	163	57	22	423
PU	WAK	374	368	1	5	412
PU	ALKM	110	97	7	6	145
PU	KWU	39	26	10	3	56
PU	RBU	88	81	6	1	96
PU	SAST	156	128	28	0	184
PU	FRMD	29	29	0	0	29
SUMMEN		1212	928	195	89	1963 = 618 + 835 + 510

T-PU	KfK	174	40	82	52	613
T-PU	ALKM	1	0	0	1	4
T-PU	KWU	6	5	1	0	7
T-PU	TU	130	75	40	15	276
T-PU	WAK	7	2	0	5	41
T-PU	FRMD	28	27	1	0	29
SUMMEN		346	149	124	73	970 = 613 + 276 + 81

TH-A	TU	41	24	16	1	59
SUMMEN		41	24	16	1	59 = 0 + 59 + 0

U	WAK	371	371	0	0	371
SUMMEN		371	371	0	0	371 = 0 + 371 + 0

U-AN	ALKM	80	70	9	1	91
U-AN	NUKM	6	1	0	5	16
U-AN	RBU	411	267	79	65	678
U-AN	SAST	704	531	122	51	955
U-AN	TU	74	44	29	1	105
SUMMEN		1275	913	239	123	1845 = 0 + 105 + 1740

GESAMTANZAHL ALLER ANALYSEN: 5763 = 1311 + 2056 + 2396
DAVON ALPHA-ANALYSEN: 5069 = 1262 + 1428 + 2379

Anhang 3:
Verteilung der von 1985 bis 1992 aus besonderem Anlaß ausgeführten Analysen

Verteilung der im Jahr 1985 aus besonderem Anlaß ausgeführten Analysen

Abt./ Inst.	Ges. Pers.	Nuklid	Ges. Ana- ly sen	Aktivitätszufuhr in % der Grenzwerte d. Jahresaktivitäts- zufuhr oder der Körperdosis					Zufuhr durch	
				./.	<5	<50	<100	<200	>200	Inha- lation
HDB	26	Pu, T-Pu	245	2	23	1			19	7
HS	1	H-3	1		1				1	
IHCH	3	U, Pu, T-Pu	20	1	1		1*		3	
IRCH	1	U-an	1	1						1
KTB/BI	2	Pu, Am	22		1+1*				2	
KTB/FR	1	Pu, Am	2		1				1	
KTB/SN	1	Po	1	1					1	
SKT	1	Pu, Am	10		1				1	
EKM	5	Pu, Am	73		3		2		4	1
Z-Summe	41		375	5	32	1	3		32	9
EUR	7	U, Pu, Am	50		7				3	4
WAK	11	Pu, T-Pu	93		10	1			7	4
Z-Summe	18		143		17	1			10	8
Alkem	50	U, Pu	227	50					50	
Nukem	155	U, U-an	382	155					155	
FRMD	8	H-3, Pu, Am Th, U-an	34	8					8	
Z-Summe	213		643	213					213	
Summe	272		1161	218	49	2	3		255	17

Legende: ./ = nicht abgeschätzt, * = bereits 1984 erfaßt

Verteilung der im Jahr 1986 aus besonderem Anlaß ausgeführten Analysen

Abt./ Inst.	Ges. Pers.	Nuklid	Ges. Ana- ly sen	Aktivitätszufuhr in % der Grenzwerte d. Jahresaktivitäts- zufuhr oder der Körperdosis					Zufuhr durch	
				./.	<5	<50	<100	<200	>200	Inha- lation
HDB	21	Pu, Am	143	3	15	2	1		8	14
HS	4	Pu, Am	15	1	3				2	1
HVT/HZ	9	Pu, Am	41		9				8	4
IGT	3	Pu, Am, Po	10		3					3
IHCH	4	Pu, Am	21		4				1	3
IMF3	1	Pu, Am	4		1					1
INE	3	U, Pu	22	1	2					2
IRCH	1	Pu, Am	30	1					1	
KTB/FR	1	H-3	3		1					1
KTB/SN	8	U, Pu, Am	38		8				3	4

LAF2	1	Pu,Am	13	1					1	
MED	1	U,Pu	14	1					1	
VBWH	1	Pu,Am	19		1					
Z-Summe	58		373	7	48	2	1		25	33
EUR	3	Pu,T-Pu	75		3				3	
WAK	25	Pu,Am,U	164	1	24				6	18
KBG	2	H-3,Pu,Am	8		2					2
Z-Summe	30		247	1	29				9	20
KWU	3	Pu,Am	26	3						
FRMD	18	Th,U-an,U H-3,Am,Pu	121	18						
Z-Summe	21		147	21						
Summe	109		767	29	77	2	1		34	53

Legende: ./.. nicht abgeschätzt

Verteilung der im Jahr 1987 aus besonderem Anlaß ausgeführten Analysen

Abt./ Inst.	Ges. Pers.	Nuklid	Ges. Ana- ly sen	Aktivitätszufuhr in % der Grenzwerte d.Jahresaktivitäts- zufuhr oder der Körperdosis					Zufuhr durch	
				./..	<5	<50	<100	<200	>200	Inha- lation
HDB	19	Pu,Am	94	19					5	14
HS	1	U	3	1					1	
HVT/HZ	7	Pu,Am	108	6	1				6	1
IGT	3	Pu,Am	21	3					1	2
IK 3	1	H-3	3	1						1
IHCH	8	Pu,Am	59	7	1				3	5
IRCH	1	Pu,Am	12	1					1	
KTB/FR	5	H-3	18	5					3	2
Z-Summe	45		318	43	2				20	25
EUR	1	Pu	11	1					1	
KBG	1	Pu,Am	2	1						1
WAK	20	Pu,Am	226	1	17	2			5	15
Z-Summe	22		239	1	19	2			6	16
KWU	32	Am	451	32						
RBU/Nuk	127	Pu,Am,U,F	1034	127						
FRMD	4	Pu,Am	22	4						
Z-Summe	163		1507	163						
Summe	230		2064	164	62	4			26	41

Legende: ./.. nicht abgeschätzt

Verteilung der im Jahr 1988 aus besonderem Anlaß ausgeführten Analysen

Abt./ Inst.	Ges. Pers.	Nuklid	Ges. Ana- ly sen	Aktivitätszufuhr in % der Grenzwerte d.Jahresaktivitäts- zufuhr oder der Körperdosis					Zufuhr durch	
				./.	<5	<50	<100	>100	Inha- lation	Wunde
HDB	36	Pu,Am	507		27	8	1		25	11
HBT	1	Pu,Am	2		1					1
HVT/HZ	1	Pu,Am	2		1					1
IGT	1	Pu,Am,	2		1					1
IK 3	1	Pu,Am,	13		1			1		
IHCH	6	Pu,Am,U	45		6			6		
IRCH	3	Pu,Am	39		3			3		
INE	1	Pu,Am	2		1					1
PBA	8	H-3	8		8			8		
Z-Summe	58		620		49	8	1		43	15
EUR	1	Pu,Am	13		1			1		
KBG	2	Pu,Am	4	1	1					2
WAK	8	Pu,Am	61		6	2		2		6
Z-Summe	11		78	1	8	2		3		8
ALKEM	1	Pu,Am	201		1					
RBU	1	Pu,Am	1		1					
FRMD	2	Pu,Am	8		2					
Z-Summe	3		210		4					
Summe	72		908	4	57	10	1		44	25

Legende: ./.. nicht abgeschätzt

Verteilung der im Jahr 1989 aus besonderem Anlaß ausgeführten Analysen

Abt./ Inst.	Ges. Pers.	Nuklid	Ges. Ana- ly sen	Aktivitätszufuhr in % der Grenzwerte d.Jahresaktivitäts- zufuhr oder der Körperdosis					Zufuhr durch	
				./.	<5	<50	<100	>100	Inha- lation	Wunde
HBT	1	Pu,Am	2		1					1
HDB	25	Pu,Am,H-3	226		6	17	2		14	11
IHCH	9	Pu,Am,U-An	56		4	5			5	4
INE	7	Pu,Am,	109		3	4			6	1
IRCH	4	Pu,Am,H-3	41		1	3			4	
HVT/EA	2	Pu,Am	4		1	1				2
HVT/HZ	6	Pu,Am	71			6			6	
Z-Summe	54		509		16	36	2		35	19
EUR	5	Pu,Am	23		3	2			1	4
WAK	26	Pu,Am,U-An	201		13	11	2		17	9

Z-Summe	31		224	16	13	2		18	13
Siemens	1	Pu,Am	56						
FRMD	2	Pu,Am	18						
Z-Summe	3		74						
Gesamt	88		807	27	49	4		42	33

Legende: ./ = nicht abgeschätzt

Verteilung der im Jahr 1990 aus besonderem Anlaß ausgeführten Analysen

Abt./ Inst.	Ges. Pers.	Nuklid	Ges. Ana- ly sen	Aktivitätszufuhr in % der Grenzwerte d.Jahresaktivitäts- zufuhr oder der Körperdosis					Zufuhr durch	
				./	<5	<50	<100	<200	>200	Inha- lation
HBT	2	Pu,Am	2	1	1				1	1
HDB	30	Pu,Am	224	18	9	2		1 [#]	13	17
IHCH	11	Pu,Am,U-An	53	5	6				7	4
INE	1	Pu,Am	2	1						1
IGT	3	P-32	1	2	1				2	1
HVT/EA	4	Pu,Am	4	4					2	2
HVT/HZ	5	Pu,Am	44	3	1	1			4	1
IK3	2	Pm *	0	2					2	
IMF2	1	U-An	1	1					1	
IMF2	1	Pu,Am	2	1						1
IMF3	1	Pu,Am	2	1						1
Z-Summe	62		335	39	18	3			32	30
TU	10	Pu,Am,Cm	151	7	2	1			5	5
WAK	15	Pu,Am	89	6	9				12	3
KBG	3	Pu,Am	2	3					2	1
Z-Summe	28		242	16	11	1			19	9
Summe	90		577	55	29	4			51	39

Legende: ./ = nicht abgeschätzt, # = Ermittlung der Berufslebensdosis,
* = Messung von Meßstelle Berlin ausgeführt

Verteilung der im Jahr 1991 aus besonderem Anlaß ausgeführten Analysen

Abt./ Inst.	Ges. Pers.	Nuklid	Ges. Ana- ly sen	Aktivitätszufuhr in % der Grenzwerte d.Jahresaktivitäts- zufuhr oder der Körperdosis					Zufuhr durch	
				./	<5	<50	<100	<200	>200	Inha- lation
HDB	36	Pu,Am	369	15	12	8	1		23	13
IHCH	17	Pu,Am	68	16	1				3	14

INE	6	Pu,Am,Np	35	5	1				6	
IRCH	3	Pu,Am,Tc	96	1	1			1	3	
HVT	1	U-An	1	1					1	
HVT/EA	8	Pu,Am	65	3	5				7	1
HVT/HZ	3	Pu,Am	16	0	3				3	
LAF	1		0	1						1
ZYKL	1	I-123	0		1				1	
Z-Summe	76		650	42	24	8	1	1	47	29
KBG	2	-	0	2					2	
TU	12	Pu,Am,Th	139	5	4		3		8	4
WAK	17	Pu,Am	37	16	1				5	12
Z-Summe	31		176	23	5	0	3	0	15	16
Summe	107		825	65	29	8	4	1	62	45

Legende: ./ = nicht abgeschätzt

Verteilung der im Jahr 1992 aus besonderem Anlaß ausgeführten Analysen

Abt./ Inst.	Ges. Pers.	Nuklid	Ges. Ana- ly sen	Aktivitätszufuhr in % der Grenzwerte d. Jahresaktivitäts- zufuhr oder der Körperdosis					Zufuhr durch	
				./.	<5	>5 <100	>100 <200	>200	Inha- lation	Wunde
HDB	41	Pu,Am	423	12	25	4			30	11
IHCH	13	Pu,Am	164	6	5	2			7	6
INE	2	Pu,Am	4	2						2
HVT/HZ	1	Pu,Am	2	1						1
HVT/EA	1	Pu,Am	2	1						1
HBT	1	Pu,Am	24		1				1	
Z-Summe	59		619	22	31	6			38	21
TU	20	Pu,Am	194	6	13	1			14	6
WAK	7	Pu,Am,U	86	2	5				5	2
Z-Summe	27		280	8	18	1			19	8
Summe	86		899	30	49	7			57	29

Legende: ./ = nicht abgeschätzt

Anhang 4: Verzeichnis der benutzten Abkürzungen

Verzeichnis der Abkürzungen von Fremd-Institutionen im Anhang 1 und 2

ALKM	=	Siemens AG / MOX (Fa.Alkem)
ECN	=	ECN Petten
EUR	=	Europäisches Institut für Transurane Karlsruhe
EURL	=	EURATOM Luxemburg
GKN	=	Gemeinschaftskraftwerk Neckar Neckarwestheim
KBG	=	KernkraftwerkBetriebsgesellschaft mbH
KWU	=	Siemens AG / KWU Erlangen
NUKM	=	Nukem GmbH
RBU	=	Siemens AG / URAN
SAST	=	Siemens AG / Auffangstelle
SOGE	=	SOGEDEC Ges.f.Allgem.Dekontamination
TU	=	Europäisches Institut für Transurane Karlsruhe
WAK	=	Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe GmbH

Verzeichnis der im Anhang 1 bis 3 als FRMD zusammengefaßten Institutionen

	in den Jahren	85	86	87	88	89	90	91	92
AUDI = Audi AG Neckarsulm		x							
BAD = Berufsgen.Arbeitsmed.Dienst Mannheim							x		
BMWD = Bayerische Metallwerke Dachau		x	x	x					
BOEH = Boehringer Mannheim							x		
BRUN = Gewerkschaft Brunhilde GmbH Ellweiler			x						
ECN = ECN NL-Petten			x	x		x			
EMBL = Europ.Lab.f.Molekularbiologie HD		x							
FU B = Freie Univers.Berlin Klinikum Steglitz		x							
GSI = Ges.f.Schwerionenforschung Darmstadt						x	x		
HARL = Krankenhaus München-Harlaching								x	
HERA = Heraeus Hanau					x				
HLFU = Hess.Landesanstalt f.Umwelt		x	x						
HONY = Fa.Honeywell Maintal							x		
KAH = Kraftanlagen Heidelberg						x			
KKP = Kernkraftwerk Philippsburg					x		x	x	x
LEIZ = Leitz Wetzlar GmbH		x	x						
LUFT = Fa.Lufft Stuttgart					x				
MANP = Fa.Manpower		x							
MOBU = Fa.Morant und Buchen									x
MUNS = Wehrbereichsverwaltung Munster Kiel						x			
NOLL = Frau Noll Köln						x			
PSI = Paul Scherrer Institut CH-Villigen								x	
RSZ = Region.Strahlenschutzzentrum KA/N/Fulda					x			x	
RWEB = Rhein.Westf.Elektrizitäts AG Biblis		x	x						
SIMS = Siemens AG Erlangen			x						
SINA = Fa.Sina Pforzheim									x
STUD = Fa.Studer Freiburg				x					
SWF = Südwestfunk Baden-Baden				x					
TU M = Technische Uni München									x
UHDE = Fa.Uhde GmbH Dortmund			x						
UNIM = Krankenhaus München Schwabing		x	x	x				x	
SMED = Siemens Med. Erlangen									x

Verzeichnis der Abkürzungen von KfK-Instituten im Anhang 3

EKM	=	Hauptabteilung Einkauf
HBT	=	Hauptabteilung Betriebstechnik
HDB	=	Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe
HS	=	Hauptabteilung Sicherheit
HVT	=	Hauptabteilung Versuchstechnik
HVT/EA	=	Hauptabteilung Versuchstechnik-Experimentieranlagen
HVT/HZ	=	Hauptabteilung Versuchstechnik - Heiße Zellen
IGT	=	Institut f. Genetik und Toxikologie von Spaltstoffen
IHCH	=	Institut für Heiße Chemie
IK3	=	Institut für Kernphysik III
IMF1	=	Institut für Materialforschung I
IMF2	=	Institut für Materialforschung II
IMF3	=	Institut für Materialforschung III
INE	=	Institut für Nukleare Entsorgungstechnik
IRCH	=	Institut für Radiochemie
KTB/BI	=	Hauptabteilung Kerntechnische Betriebe -Betriebsinstandhaltung
KTB/FR	=	Hauptabteilung Kerntechnische Betriebe - Forschungsreaktor
KTB/SN	=	Hauptabteilung Kerntechnische Betriebe - SNEAK
LAF1	=	Laboratorium für Aerosolphysik und Filtertechnik I
LAF2	=	Laboratorium für Aerosolphysik und Filtertechnik II
MED	=	Medizinische Abteilung
PBA	=	Projektbereich Anlagen
SKT	=	Schule für Kerntechnik - Fortbildungszentrum f.Technik u.Umwelt
VBW	=	Hauptabteilung Versorgungsbetriebe und Werkstätten
ZYKL	=	Institut für Kernphysik - Zyklotron

Anhang 5: Arbeitsvorschriften des Tox.Labors

Arbeitsvorschrift zum Nachweis von Pu mit Trioctylamin (TOA) in Urin und Stuhl

- 1.a Den 24-h-Urin in einer Quarzschale mit einer bekannten Aktivität Pu-236, einigen ml Octylalkohol und 50 ml HNO_3 (konz.) versetzen und langsam bis zur Trockne eindampfen.
- 1.b Den Stuhl mit dem Behälter in einer Quarzschale veraschen
2. bei 480°C ca.1 Stunde lang glühen.
3. Rückstand in 130 ml HNO_3 (4M) lösen, Schale mit einem Uhrglas abdecken, kurz aufkochen und 10 Minuten bei ca. $80-90^\circ\text{C}$ halten.
4. Auf Zimmertemperatur abkühlen lassen.
5. Lösung in 250-ml-Schütteltrichter geben, Schale mit 50 ml HNO_3 (4M) spülen.
6. 2 ml NaNO_2 -Lösung (5M=ca.35g/100 ml) zugeben, 2 bis 3 Minuten stehen lassen.
7. 50 ml TOA (10 %-ig in Toluol) dazugeben, 5 Minuten schütteln.
8. Phasen absitzen lassen.
9. Phasen trennen, wässrige Phase verwerfen.
- 10a Urin: 2 mal mit 50 ml HNO_3 (4M) waschen, je 1 Minute schütteln, absitzen lassen, Waschwasser jeweils verwerfen.
- 10b Stuhlproben: 2 mal mit HNO_3 (4M) und einmal mit 8.5 M HCl (8.5M) waschen
11. Mit 40 ml H_2SO_4 (0.2M) rückextrahieren, 5 Minuten schütteln.
12. Absitzen lassen, Phasen trennen und org.Phase zur Regeneration sammeln.
13. Anorganische Phase durch eine Pipettenspitze mit Watte in ein Kritallisierschälchen tropfen lassen.
14. Bis zur Trockne eindampfen.
15. Mit 1 ml HNO_3 versetzen und erneut zur Trockne eindampfen.
16. 0.3 ml H_2SO_4 (konz.) zugeben, erhitzen bis Bildung von SO_3 -Nebeln, abkühlen.
17. Die Lösung portionsweise mit insgesamt 5.0- ml destilliertem Wasser in eine vorbereitete Elektrolyse-zelle überführen.
18. Unter Verwendung von Methylrot als Indikator pH-Wert mit einigen Tropfen NH_4OH (konz.) auf Farbumschlag von rot nach gelb, anschließend mit H_2SO_4 (1.5M) auf Farbumschlag rot einstellen.
19. Elektrolyse auf Edelstahlplättchen 25 mm Durchmesser kathodisch 2 Stunden bei 400 mA.
20. 2 ml NH_4OH (konz.) zugeben, Zelle entleeren, Strom abschalten.
21. Messen der alpha-Aktivität 60000 Sekunden und Berechnung der Aktivität.

Arbeitsvorschrift zum Nachweis von Am-, Cm-, Cf in Urin und Stuhl

1. Den 24-h-Urin in einer Quarzschale mit einer bekannten Aktivität des Leitisotops (Am-243, Cm-244) und einigen ml Octylalkohol und 50 ml HNO_3 (konz.) versetzen und langsam bis zur Trockne eindampfen.
2. Rückstand bei 480°C ca. 1 Stunden lang glühen.
3. Rückstand in 130 ml HNO_3 (2M) lösen, Schale mit einem Uhrglas abdecken, kurz aufkochen und 10 Minuten bei ca. 80 bis 90°C halten.
4. Auf Zimmertemperatur abkühlen lassen.
5. pH-Wert von 1 mit NH_4OH einstellen (Indikatorstäbchen pH 0 - 2,5).
6. Die Lösung in einen 250-ml-Schütteltrichter überführen, Schale mit 50 ml HNO_3 (0,1M) nachspülen.
7. 50 ml TOPO (10%-ig in Cyclohexan) dazugeben, 5 Minuten schütteln.
8. Phasen absitzen lassen.
9. Phasen trennen, wässrige Phase verwerfen.
10. 3 mal mit 50 ml HNO_3 (0,1M) waschen, je kurz schwenken, absitzen lassen, Waschwasser jeweils verwerfen.
11. Mit 40 ml HCl(8,5M) rückextrahieren, 5 Minuten schütteln.
12. Absitzen lassen, Phasen trennen, organische Phase zur Regeneration sammeln.
13. Die anorganische Salzsäure-Phase durch eine Pipettenspitze mit Watte in ein Kristallisierschälchen tropfen lassen.
14. Zur Trockne eindampfen.
15. Mit 1 ml HNO_3 versetzen und erneut zur Trockne eindampfen.

16. 0,3 ml H_2SO_4 (konz.) zugeben, erhitzen bis zur Bildung von SO_3 -Nebeln, abkühlen lassen.
17. Portionsweise mit insgesamt 5,0 ml destilliertem Wasser in eine vorbereitete Elektrolysezelle überführen.
18. Unter Verwendung von Methylrot als Indikator pH-Wert mit einigen Tropfen NH_4OH (konz.) auf Farbumschlag von rot nach gelb, anschließend mit H_2SO_4 (1,5M) auf Farbumschlag rot einstellen.
19. Elektrolyse auf Edelstahlplättchen 25 mm Durchmesser kathodisch 2 Stunden bei 400 mA.
20. 2 ml NH_4OH (konz.) zugeben, Zelle entleeren, Strom abschalten.
21. Messen der Alpha-Aktivität 60 000 sec und Berechnung der Aktivität durch Alpha-Spektrometrie.

Arbeitsvorschrift zum Nachweis von Uran mit TOA (Trioctylamin) in Urinproben

1. Zu jeder Probe wird als Tracer ca.40 mBq U-232 gegeben
2. Urinproben werden mit ca.100 ml HNO_3 (konz.) und einigen ml Octylalkohol eingedampft und ca.eine Stunde bei 480 °C geglüht.
3. Rückstand mit ca.100 ml HCl (4 M) lösen (einige Minuten bei mäßiger Temperatur erwärmen)
4. Lösung in 250-ml-Schütteltrichter überführen, Schalen mit ca.50 ml HCl (4 M) nachspülen.
5. Mit ca.75 ml TOA (10%ig in Toluol) versetzen und 5 bis 10 Minuten mit einer Schüttelmaschine schütteln.
6. Die Phasen trennen, wässrige Phase verwerfen
7. Die organischen Phasen werden 3 mal mit je ca.100 ml HCl (4 M) gewaschen. Waschwasser verwerfen.
8. Rückextraktion des Urans mit 40 ml HCl (0.01 M), die organischen Phasen zur Regenerierung sammeln.
9. Die salzsaure Phase durch eine Pipettenspitze mit Watte in ein Kristallisierschälchen tropfen lassen.
10. Rückstand mit 1 ml HNO_3 (konz.) oxidieren und erneut zur Trockne eindampfen.
11. Nach Zugabe von 0.3 ml H_2SO_4 (konz.) solange erhitzen, bis SO_3 -Dämpfe entstehen, abkühlen lassen.
12. Die Lösung wird in das Elektrolysegefäß überführt. Dazu werden 5ml Wasser zum Spülen verwendet.
13. Die Lösung wird mit NH_4OH (konz.) und mit Methylrot als Indikator auf einen pH-Wert von ca.4 (rot) eingestellt.
14. Die Elektrolyse erfolgt innerhalb von 2 Stunden bei 0.3 A auf gereinigten Edelstahlplättchen.
15. Die Elektrolyse wird durch Zugabe von NH_4OH (konz.) unterbrochen, das Gefäß unter Strom entleert.
16. Messung des Urans durch Alpha-Spektrometrie im Vakuum während 60 000 sec Meßzeit.

Arbeitsvorschrift zum Nachweis von Thorium mit Trilaurylamin (TLA) (Tridodecylamin) in Urin- und Stuhlproben

1. Zu jeder Probe wird als Tracer ca.80 mBq Th-229 und 1 ml $FeCl_3$ -Lösung (1 mg/ml) gegeben
2. Stuhlproben werden eine Stunde bei 480°C verascht, dann werden ca. 50 ml HNO_3 (konz.) eingedampft und die Veraschung wiederholt, bis kein Kohlenstoff mehr vorhanden ist.
3. Urinproben werden mit ca.100 ml HNO_3 (konz.) und einigen ml Octylalkohol eingedampft und ca.eine Stunde bei 480 °C geglüht.
4. Rückstand mit ca.130 ml HNO_3 (4 M) lösen (10 Minuten bei mäßiger Temperatur)
5. Lösung in 250-ml-Schütteltrichter geben, Schalen mit ca.50 ml HNO_3 (4M) spülen.
6. 2 ml $NaNO_2$ -Lösung (5M=ca.35g/100 ml) zugeben, 2 bis 3 Minuten stehen lassen.
Mit ca.75 ml TLA (25%ig in Cyclohexan) versetzen und 5 bis 10 Minuten mit einer Schüttelmaschine schütteln.
7. Die Phasen trennen, wässrige Phase weiterverarbeiten, organische Phase sammeln.
8. Wässrige Phase erneut mit TLA extrahieren und die organischen TLA-Phasen vereinen.
9. Die organischen Phasen werden 3 mal mit je ca.100 ml HNO_3 (4 M) gewaschen. Waschwasser verwerfen.
10. 2-malige Rückextraktion des Thoriums mit je 30 ml HCl (10 M), die organischen Phasen zur Regenerierung sammeln.

11. Zur salzsauren Phase 15 ml Wasser zugeben (dadurch erniedrigt sich die Konzentration von 10 M auf 8 M).
12. Zur Entfernung des Eisens wird eine Extraktion mit 3 mal 50 ml Diisopropylether durchgeführt. Der Ether wird verworfen.
13. Die salzsaure Phase wird zur Trockne eingedampft und 15 min. geglüht bei 480 °C, der Rückstand mit 1 ml HNO₃ (konz.) oxidiert und erneut zur Trockne eingedampft.
14. Nach Zugabe von 0.6 ml H₂SO₄ (konz.) solange erhitzen, bis SO₃-Dämpfe entstehen, abkühlen lassen.
15. Die Lösung wird in das Elektrolysegefäß überführt. Dazu werden 10 ml Wasser zum Spülen verwendet.
16. Die Lösung wird mit NH₄OH (konz.) und mit Methylrot als Indikator auf einen pH-Wert von ca.4 (rot) eingestellt.
17. Die Elektrolyse erfolgt innerhalb von 2 Stunden bei 1.2 A auf gereinigten Edelstahlplättchen.
18. Die Elektrolyse wird durch Zugabe von NH₄OH (konz.) unterbrochen, das Gefäß unter Strom entleert.
19. Messung des Thoriums durch Alpha-Spektrometrie im Vakuum (60000 Sec.)

Nachweis von Tritium in Urin

1. 1 ml Urin wird mit 19 ml Szintillatorlösung (Instant Scint.Gel) versetzt,
2. Messung im Flüssigszintillationsspektrometer 3 x 10 Minuten
3. Kontrolle der Quenchkurve durch Zusatz von ca.genau 50000 Zpm H-3 zu drei Urinproben mit unterschiedlicher Eigenfärbung

Anhang 6: Formblatt zur Dosisermittlung bei Messungen aus besonderem Anlaß

Med/Tox HS/D HS/Ü

**Kernforschungszentrum
Karlsruhe GmbH**

KfK, den

An den SSB

Lfd. Nr.

Betr.: **Dosis- und Zufuhrabschätzung aus besonderem Anlaß** am

Name Vorname Geb.-Datum ID-Nr.

Grund der Abschätzung: Personenkontamination Verletzung Inhalationsverdacht erhöhter Routinewert

1. Zufuhr- und Dosiswerte aus Urin- und Stuhlausscheidungsmessungen

Nuklid / Ret.-Klasse					Summe
Zufuhr aus Stuhl (Bq)					
Urin (Bq)					
Effektive Dosis (mSv)					
Knochenobfl.-Dosis (mSv)					
..... (mSv)					

2. Zufuhr- und Dosiswerte aus Ganz- und/oder Teilkörpermessungen

Nuklid / Ret.-Klasse					Summe
Zufuhr Direktmessung (Bq)					
Leitnuklid (Bq)					
Effektive Dosis (mSv)					
Knochenobfl.-Dosis (mSv)					
..... (mSv)					

3. Zufuhr- und Dosiswerte aus Raumluftmessungen

Nuklid / Ret.-Klasse					Summe
Zufuhr (Bq)					
Effektive Dosis (mSv)					
Knochenobfl.-Dosis (mSv)					
..... (mSv)					

4. Auf Grund der unter 1. bis 3. ermittelten Werte wird festgelegt: Zufuhrdatum:

Nuklid / Ret.-Klasse					Summe
Zufuhr (Bq)					
Effektive Dosis (mSv)					
Knochenobfl.-Dosis (mSv)					
..... (mSv)					

Meldepflichtiges Ereignis: ja nein Stufe

Verteiler (nach Unterschrift von HS/Ü):

Med/Tox
HS/D
HS/Ü
Med
HS/AS

.....
Med/Tox

.....
HS/D

.....
HS/Ü