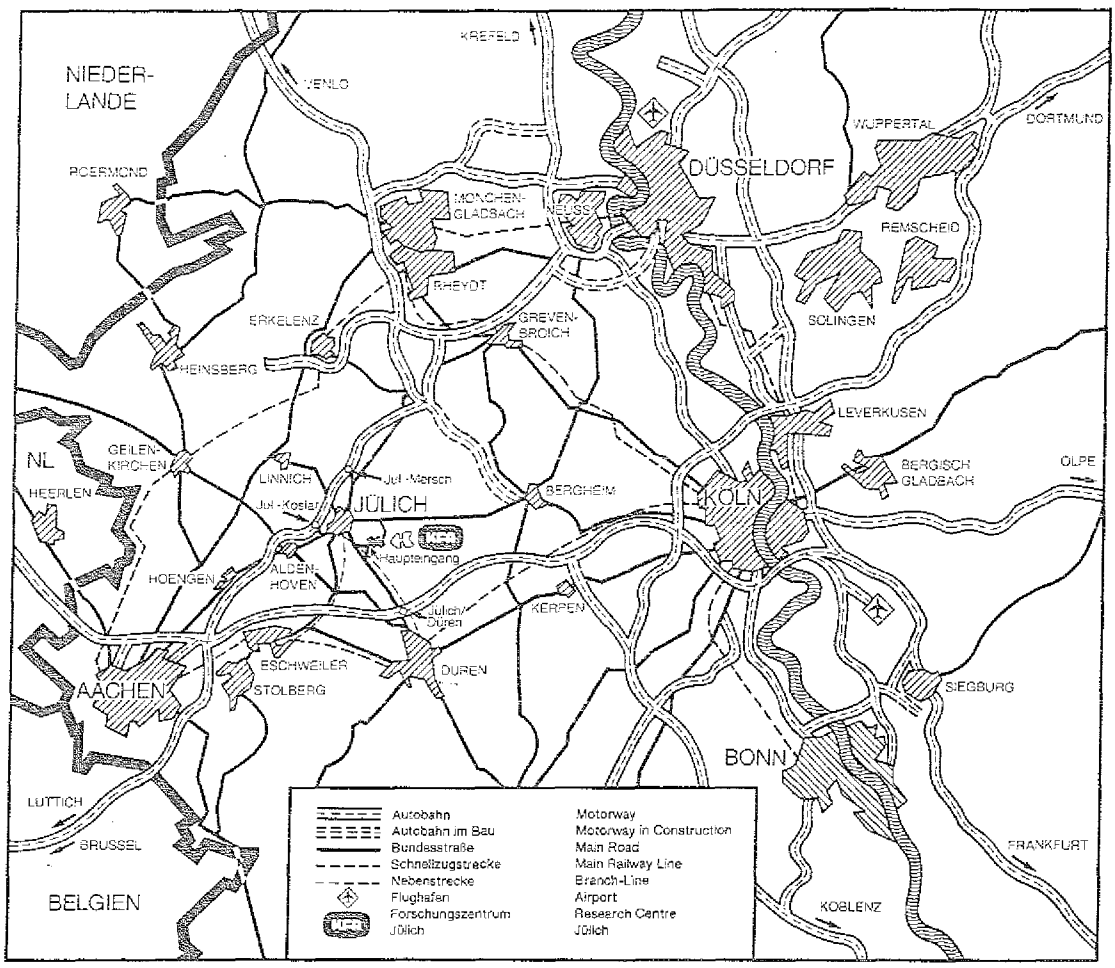
FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GmbH
Abteilung Sicherheit und Strahlenschutz

Messungen der durch β-Strahlung erzeugten Ortsdosisleistungen und Personendosen in den Kernkraftwerken Krümmel und Unterweser

von

M. Heinzelmann
G. Hallfarth
D. Regulla
G. H. Schnepel
U. Welte

Jül-2350
März 1990
ISSN 0366-0885



Als Manuskript gedruckt

Forschungszentrum Jülich: Berichte Nr. 2350

Abteilung Sicherheit und Strahlenschutz Jül-2350

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK · Forschungszentrum Jülich GmbH
Postfach 1913 · D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)
Telefon: 02461/61-0 · Telex: 833556 kf d

Messungen der durch β-Strahlung erzeugten Ortsdosisleistungen und Personendosen in den Kernkraftwerken Krümmel und Unterweser

von:

M. Heinzelmann	Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich
G. Hallfarth	Kernkraftwerk Krümmel, Geesthacht
D. Regulla	Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung, Neuherberg
G. H. Schnepel	Bundesamt für Strahlenschutz, Bonn
U. Welte	Kernkraftwerk Krümmel, Geesthacht

Inhalt: Seite

1. Einleitung

Die Arbeitsgruppe "ß-Dosimetrie in Kernkraftwerken" hat im Auftrag des Ausschusses "Strahlenschutztechnik" der "Strahlenschutzkommission" die durch ß-Strahlung erzeugte Ortsdosisleistung im Kernkraftwerk Krümmel gemessen. Der Auftrag des Ausschusses "Strahlenschutztechnik" ist nach Abschluß der ersten Messungen im Kernkraftwerk Krümmel um die Bestimmung der durch ß-Strahlung erzeugten Dosis bei Arbeiten in einem Dampferzeuger eines älteren Kernkraftwerkes mit Druckwasserreaktor erweitert worden.

Im Rahmen dieses Auftrages wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Messung der ß-Dosisleistung und der Abschirmung der ß-Strahlung durch Schutzkleidung im Kernkraftwerk Krümmel bei einer Begehung des Kraftwerkes durch die Arbeitsgruppe während der Revisionsphase.
- Messung der ß-Dosisleistung, der Abschirmung durch Schutzkleidung und der Personendosis erzeugt durch ß-Strahlung im Kernkraftwerk Krümmel bei ausgewählten Arbeiten während der Revision durch zwei Mitarbeiter der Firma R. Krahn GmbH, Jülich, im Auftrage des Kraftwerkes.
- Messung der ß-Dosisleistung und der Abschirmung durch Schutzkleidung im Kernkraftwerk Krümmel bei einer Begehung des Kraftwerkes durch die Arbeitsgruppe während der Betriebsphase.
- Messung der ß-Dosisleistung, der Abschirmung durch Schutzkleidung und der Personendosis durch ein Mitglied der Arbeitsgruppe bei Dampferzeugereinstiegen im Kernkraftwerk Unterweser.

Die umfangreichen Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden zunächst in fünf Einzelberichten (7) - (11) niedergelegt. Anhand dieser wurde ein zusammenfassender Bericht erstellt, der am 15. November 1989 dem Ausschuß "Strahlenschutztechnik" vorgelegt wurde. Der hier vorliegende Bericht entspricht diesem bis auf redaktionelle Änderungen.

2. Meßmethoden

2.1 Dosisleistungsmessungen

Die Dosisleistung wurde im allgemeinen in geringem Abstand (1 bis 2 cm) von der Oberfläche kontaminierter Gegenstände gemessen. Bei großen Werten der Dosisleistung wurden zusätzlich Messungen in größerem Abstand durchgeführt. Gemessen wurde mit dünnwandigen Ionisationskammern. Die Ionisationskammern besaßen eine Kappe zur Absorption von ß-Strahlung. Bei Messung ohne Kappe wurde die gesamte, durch ß- und γ-Strahlung erzeugte Ortsdosisleistung $\dot{H}$ bestimmt. Bei Messung mit Kappe auf der Ionisationskammer wurde nur der durch γ-Strahlung erzeugte Anteil der Dosisleistung $\dot{H}_\gamma$ gemessen. Bei einem der Dosimeter mit Ionisationskammer (Babyline 31) wird ß-Strahlung hoher Energie durch die Kappe nicht völlig absorbiert. Die flächenbezogene Masse der Kappe ist aber in den auftretenden Strahlenfeldern zur Bestimmung der ß-Dosisleistung hinreichend. Der durch ß-Strahlung erzeugte Anteil der Dosisleistung $\dot{H}_\beta$ berechnet sich als Differenz der beiden einzelnen Meßwerte

$$\dot{H}_\beta = \dot{H} - \dot{H}_\gamma$$

Gemessen wurde mit Geräten unterschiedlichen Typs, den Dosimetern Babyline 31 (Hersteller: Nardeux, Loches, Frankreich) und DL 1 (Hersteller: Reaktorwartungsdienst und Apparatebau, Jülich). Beide Geräte messen ß-Strahlung hinreichend energieunabhängig. Das Dosimeter Babyline 31 besitzt als Detektor eine größere Ionisationskammer mit einem Volumen von etwa 0,52 l. Wegen des großen Kammervolumens ist das Dosimeter auch geeignet zur Messung kleiner Werte der Dosisleistung. Der Vollausschlag in empfindlichsten Meßbereich beträgt 10 $\mu Sv.h^{-1}$. Die Anzeige einer Ionisationskammer ist gleich der mittleren Dosisleistung in der Kammer. Das Dosimeter Babyline 31 zeigt daher den Wert der mittleren Dosisleistung in der relativ großen Ionisationskammer an. Aus diesem Grund zeigt dieses Dosimeter in sehr inhomogenen Strahlenfeldern, z.B. nahe an kleinflächigen Strahlenquellen, einen Wert an, der sich erheblich vom wahren Wert der Dosisleistung am Meßort unterscheiden kann.

Das Dosimeter DL 1 (1) besitzt als Detektor eine relativ kleine Ionisationskammer mit einem Volumen von 15 cm^3. Dieses Dosimeter ist deswegen nicht so gut zur Messung kleiner Werte der Dosisleistung geeignet. Der Vollausschlag im empfindlichsten Meßbereich beträgt 1,1 $mSv.h^{-1}$. Wegen des kleinen Detektorvolumens ist dieses Dosimeter besser als das Babyline 31 geeignet zur Bestimmung der Dosisleistung in der Nähe von kleinflächigen Strahlenquellen.

Zu Vergleichszwecken wurde die γ-Dosisleistung $\dot{H}_\gamma$ in Einzelfällen mit anderen Dosimetern bestimmt.

2.2 Abschirmmessungen

Die Abschirmmessungen sollten Aussagen liefern sowohl über das Strahlenfeld als auch über die Abschirmwirkung der Schutzkleidung. Dazu wurden Dosisleistungsmessungen durchgeführt, bei denen der Detektor mit Absorbern unterschiedlicher Dicke bzw. unterschiedlicher flächenbezogener Masse abgedeckt war. Von den einzelnen Mitgliedern der Arbeitsgruppe wurden dabei unterschiedliche Absorber benutzt. Die Art des gewählten Absorbers konnte auch vom Strahlenfeld abhängen. Abb. 1 zeigt als Beispiel ein Dosimeter mit einer Absorberkappe, die besonders geeignet ist bei Strahleneinfall hauptsächlich auf die Vorderseite des Detektors. Auf der Vorderseite dieser Kappe konnten verschiedene Schutzkleidungsproben befestigt werden. Die entsprechenden Abschirmmessungen wurden bezogen auf eine Messung mit vorn offener Kappe.

Für eine Strahlenfeldanalyse, bei der untersucht werden sollte, ob niederenergetische K-Strahlung mit zur Ortsdosisleistung beiträgt, wurden auf der in Abb. 1 dargestellen Kappe vorn Aluminiumfolien unterschiedlicher Dicke angebracht.

In annähernd isotropen Strahlenfeldern wurden Absorptionsmessungen mit mehreren Plexiglaskappen verschiedener Dicke durchgeführt. Die einzelnen Kappen hatten jeweils gleiche Wandstärke an der Vorderseite und an der Mantelfläche.

Die Ergebnisse der Absorptionsmessungen wurden verglichen mit Nuklidbestimmungen an Wischproben von den verschiedenen Gegenständen.

2.3 Personen- und Ortsdosismessungen

Die Teilkörperdosis wurde mit Thermolumineszenzdosimetern bestimmt. Verwendet wurden Thermolumineszenzdosimeter (Dreifach-TLD) mit drei Detektoren (2) aus LiF in Teflon. Die drei Detektoren sind hintereinander angeordnet. Der erste, dünne Detektor (0,13 mm dick, 12 mm Durchmesser) dient zur Bestimmung der Hautdosis. Die Anzeige H_1 dieses Detektors ist - abgesehen für ß-Strahlung geringer Energie - gleich der Hautdosis. Das Ansprechvermögen dieses Detektors ist in erster Näherung energieunabhängig für ß- und γ-Strahlung. Für ß-Strahlung geringer Energie muß die Anzeige H_1 zur Bestimmung der Hautdosis mit einem Korrektionsfaktor multipliziert werden (Tabelle 1). Der zweite und dritte Detektor des Dreifach-TLD sind 0,4 mm dick. Die Anzeigen H_2 und H_3 des zweiten und dritten Detektors geben die Werte der Dosis in etwas größerer Tiefe an. Das Verhältnis $H_1:H_2$ der Anzeige des ersten zur Anzeige des zweiten Detektors und ebenso das Verhältnis $H_2:H_3$ der Anzeige des zweiten zur Anzeige des dritten Detektors geben eine Aussage über das Strahlenfeld (Tabelle 1). Für γ-Strahlung sind $H_1:H_2$ und $H_2:H_3 \approx 1$. Bei ß-Strahlung nimmt das Verhältnis $H_1:H_2$ zu mit abnehmender Energie der ß-Strahlung. Wenn sich H_1, H_2 und H_3 nicht sehr unterscheiden, kann auch das Verhältnis $H_1:H_3$ zur Beschreibung des Strahlenfeldes dienen.

Die Anzeige H_3 des dritten Detektors wird von ß-Strahlung geringer Energie nur sehr wenig beeinflußt. ß-Strahlung großer Energie beeinflußt aber auch die Anzeige des dritten Detektors, so daß aus der Anzeige H_3 der γ-Anteil der Dosis noch nicht direkt gewonnen werden kann. Zu Bestimmung des γ-Anteils der Dosis können weitere Messungen erforderlich sein.

Der Wert der unteren Nachweisgrenze (angegeben als dreifacher Wert der Standardabweichung der Anzeige unbestrahlter Detektoren) ist für die verschieden dicken Detektoren unterschiedlich. Bei Messungen im Labor wurde als Wert der unteren Nachweisgrenze für den ersten Detektor 1,5 mSv und für den zweiten und dritten Detektor 0,2 mSv gefunden. Die Dosismeßstelle des MPA-Dortmund gibt als Nachweisgrenze für das Dreifach-TLD 1 mSv an. Für die hier beschriebenen Untersuchungen wurden vom MPA auf Anfrage die Werte der drei Detektoren getrennt angegeben und dies auch dann, wenn die Detektoranzeigen kleiner 1 mSv waren.

Im Kernkraftwerk Krümmel wurden die Dreifach-TLD an der Hand direkt auf der Haut und an anderen Körperteilen über dem Overall getragen. Wurden zwei Overalls gleichzeitig getragen, so befand sich das Dosimeter auf dem untersten Overall. Bei den Messungen im Kernkraftwerk Krümmel wurden Dreifach-TLD vom MPA Dortmund und von der KFA Jülich verwendet. Im Kernkraftwerk Unterweser wurden nur Dreifach-TLD der KFA-Jülich eingesetzt.

Von den Kraftwerken wurden zur Messung der durch γ-Strahlung erzeugten Personendosis zusätzlich digital anzeigende Taschendosimeter mit GM-Zähler - im folgenden als digitales Dosimeter bezeichnet - und im Kraftwerk Unterweser bei der Teilkörperdosisüberwachung auch Stabdosimeter des Typs FH 39 (Hersteller: Frieseke u. Höpfner, Erlangen) eingesetzt. Als digitale Dosimeter wurden im Kraftwerk Krümmel Personendosimeter 219.1 (Hersteller: Automess, Ladenburg) und im Kraftwerk Unterweser Rad 22 E (Hersteller: Alnor, Finnland) verwendet.

Zur Ortsdosisleistungsmessung wurden vom Kernkraftwerk Krümmel auf der 52 m Bühne Dreifach-TLD verwendet.

An einem ausgewählten Meßpunkt wurde eine Vergleichsbestrahlung durchgeführt. Die Dosisleistung wurde mit dem Dosimeter DL 1 bestimmt, und zusätzlich wurden Dreifach-TLD, ein Dünnschicht-TLD des Typs UD-100 M8 (flächenbezogene Masse ca. 2 $mg.cm^{-2}$, Hersteller: Panasonic, Osaka, Japan) mit $CaSO_4$:Tm als Detektormaterial und ein amtliches Filmdosimeter bestrahlt.

3. Meßergebnisse und Diskussion

3.1 Messungen im Kernkraftwerk Krümmel

3.1.1 Dosisleistungsmessung

3.1.1.1 Ortsdosisleistung während der Revision

Der Begehungstermin der Arbeitsgruppe war für einen Zeitpunkt geplant, an dem möglichst viele Arbeiten erfaßt werden konnten, bei denen mit Strahlenfeldern hoher β-Dosisleistung gerechnet wurde. Durch Terminverschiebungen bedingt, konnten die ursprünglich vorgesehenen Messungen nicht in vollem Umfang durchgeführt werden. Von den ursprünglich geplanten Messungen wurden noch Messungen an einer Hammerkopfschraube, an einem Brennelementgreifer und an Turbinen durchgeführt. Bei der Begehung des Kraftwerkes wurden an Arbeitsplätzen und Gegenständen im Steuerstabantriebsraum, im Maschinenhaus, im Speisewasserbehälter, in einer Frischdampfleitung und in der Werkstatt nach β-Strahlung gesucht. An weiteren Gegenständen und bei Arbeiten, wo besonders β-Strahlung zu erwarten war, wurden Messungen im Auftrag des Kernkraftwerkes Krümmel durchgeführt. Eine Auswahl der Meßergebnisse zeigt Tabelle 2.

Größere Werte der Dosisleistung wurden bei Kerneinbauteilen (Regelstabantrieb, Hammerkopfschraube), an Werkzeugen zur Manipulation an solchen Gegenständen, an einer Pumpe sowie im Flutraum und an Rohren in der Kondensationskammer festgestellt.

Der höchste Wert wurde an einem ausgebauten Regelstabantrieb gemessen. Durch einfache Dekontamination, durch Putzen mit Vliestüchern, konnte die Dosisleistung wesentlich verkleinert werden. Die Dekontamination führt zu einer erheblichen Verringerung der Dosisbelastung bei den Arbeiten am Regelstabantrieb. Die Teilkörperdosis der mit der Dekontamination befaßten Personen war gemessen worden.

Geringe Dosisleistungen wurden in der Frischdampfleitung, im Speisewasserbehälter und an den Turbinen gefunden. Bei den Turbinen waren die Orte erhöhter Dosisleistung auf relativ kleine Gebiete beschränkt.

An fast allen Meßorten ist die β-Dosisleistung erheblich größer als die γ-Dosisleistung. An der Hammerkopfschraube und der zugehörigen Mutter nimmt das Verhältnis $\dot{H}_\beta : \dot{H}_\gamma$ mit zunehmender Entfernung von der Strahlenquelle stark ab. Dies ist ein Zeichen für β-Strahlung kleiner Maximalenergie.

3.1.1.1.1 **Vergleichsmessung**

An einem Gegenstand, an der Mutter der Hammerkopfschraube, wurden Vergleichsmessungen durchgeführt. Für diese Messungen wurde die Position der Dosimeter besonders genau festgelegt. Ergänzend zur Messung mit Dosisleistungsmeßgeräten wurde die Ortsdosisleistung aus den Anzeigen bestrahlter Personendosimeter bestimmt. Die Meßergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Drei verschiedene DL 1 wurden bei der Dosisleistungsmessung verwendet. Der Detektor des DL 1 hat eine Tiefe von 2,4 cm. Bei einem Abstand der Detektorvorderkante von 1 cm bis zur Mutter der Hammerkopfschraube ist der Abstand der Detektormitte fast genau so groß wie der Abstand der Personendosimeter von der Strahlenquelle. Die mit den verschiedenen DL 1 und mit den Dreifach-TLD gemessenen Werte stimmen recht gut überein. Die Unterschiede der Anzeigen der Dreifach-TLD sind sowohl durch statistische Meßunsicherheiten als auch - die drei Dosimeter wurden gleichzeitig nebeneinander bestrahlt - durch örtliche Unterschiede der Dosisleistung verursacht.

Da alle drei Einzeldetektoren des Dreifach-TLD a (diese Einzelwerte sind in Tabelle 3 nicht angegeben) 10 bis 20 % weniger anzeigen als die entsprechenden Werte des Dreifach-TLD b und da diese Werte alle wiederum 4 bis 11 % kleiner sind als die bei Dreifach- TLD c, beruhen die Unterschiede der Anzeigen der drei Dreifach-TLD hauptsächlich auf örtlichen Dosisleistungsunterschieden.

Die Anzeigen der jeweils dritten Detektoren der Dreifach-TLD wurden der Dosis erzeugt durch γ-Strahlung gleichgesetzt. Dies ist nur gerechtfertigt, wenn der Beitrag von ß-Strahlung hoher Energie vernachlässigt werden kann. Es wurde durch Abschirmungsmessungen gezeigt, daß an der Mutter der Hammerkopfschraube praktisch keine ß-Strahlung großer Energie im Strahlenfeld vorhanden ist.

Die Anzeige des γ-Dosimeters FH-40 stimmt gut mit den Anzeigen der DL 1 und der Dreifach-TLD überein.

Das Dosimeter Babyline 31 zeigt nur etwa 1/5 der Werte des DL 1 an. Dies beruht auf den unterschiedlich großen Detektoren der beiden Dosimeter. Das Filmdosimeter zeigt eine um den Faktor 4 bis 5 kleinere ß-Dosisleistung und eine um den Faktor 2,8 kleinere γ-Dosisleistung als die Dosimeter DL 1 bzw. die Dreifach-TLD an. Da die Ergebnisse der Abschirmmessungen und der Dreifach-TLD - bei diesen zeigt der erste Detektor eine um den Faktor 8,4 höhere Dosis an als der zweite Detektor - zeigen, daß die ß-Strahlung hauptsächlich niederenergetisch ist, ist die Unterempfindlichkeit des Filmdosimeters für ß-Strahlung erklärbar. Eine Erklärung für den relativ kleinen Wert der mit dem Filmdosimeter gemessenen γ-Dosisleistung kann nicht gegeben werden. Möglicherweise wird die Bestimmung der γ-Dosisleistung von der hohen ß-Dosis beeinflußt.

Überraschend ist der große Wert der Dosisleistung, der mit Hilfe des für ß-Strahlung sehr gut geeigneten Dünnschicht-TLD gefunden wurde. Eine mögliche Erklärung gibt das Nuklidspektrum der Kontamination der Hammerkopfschraube. Eine Wischprobe von der Hammerkopfschraube enthielt außer Co-60 (57,5 %), Tc-99 m (0,07 %) und Ag-110 m (0,44 %) nur Nuklide, die nur (Cr-51, Mn-54) oder zum größten Teil (Co-58, Zn-65) durch K-Einfang zerfallen. Die entstehende K-Strahlung liegt im Energiebereich von 5 bis 9 keV. Da das Dünnschicht-TLD $CaSO_4$ als Thermolumineszenzmaterial enthält, kann dies Ursache für die zu hohe Anzeige des Dünnschicht-TLD bei diesem Vergleich die Überempfindlichkeit dieses Dosimeters für niederenergetische Photonenstrahlung sein.

3.1.1.1.2 Radioaktive Edelgase

Während der Revision enthält die Luft in der Reaktorhalle auf der 52 m-Bühne in geringer Konzentration radioaktive Edelgase. Die Ortsdosisleistung erzeugt durch die ß-Strahlung dieser Edelgase wurde mit dem Dosimeter Babyline 31 gemessen, und das Ergebnis wurde mit berechneten Werten verglichen (Tabelle 4). Die ß-Dosisleistung erzeugt durch die radioaktiven Edelgase wurde aus der vom Kernkraftwerk gemessenen Edelgaskonzentrationen mit Hilfe der Abb. 3 der Berechnungsgrundlage zur Ermittlung der Körperdosis (3) berechnet.

Der Wert der ß-Dosisleistung der ersten Messung in Tabelle 4 ist eine kleine Differenz großer Zahlen, und er ist deswegen mit einer großen Meßunsicherheit behaftet. Diese Messung wurde auch in der Nähe des Wasserbeckens durchgeführt, und eine Beeinflussung der Messung durch Direktstrahlung aus dem Wasserbecken kann nicht ausgeschlossen werden.

In der Berechnungsgrundlage (3) wird für die verschiedenen Edelgasisotope der Umrechnungsfaktor von der Konzentration in die ß-Dosisleistung angegeben. Dabei wird angenommen, daß die Edelgase sich in einem mit Luft gefüllten Raum befinden, und die ß-Dosisleistung gilt für einen Punkt in 70 µm Tiefe in der gewebeäquivalenten Wand dieses Raumes. Die ß-Strahlung fällt also nur aus einem Halbraum ein. Diese Annahme ist sinnvoll, da eine Person bei Aufenthalt in einer Atmosphäre, die radioaktive Edelgase enthält, an einer Stelle der Haut auch nur von ß-Strahlung aus einem Halbraum getroffen wird. Das zu Messung verwendete Dosimeter Babyline mißt aber die ß-Strahlung nicht nur aus einem Halbraum, sondern aus einem fast doppelt so großen Bereich. Die gemessenen Werte von $\dot{H}_\beta$ in Tabelle 4 sind damit um etwa einen Faktor 2 zu groß. Wird dies berücksichtigt, dann unterscheidet sich der Wert der zweiten, ungleich zuverlässigeren Messung noch um einen Faktor 2 vom berechneten Wert der ß-Dosisleistung. Eine mögliche Ursache für den verbleibenden Unterschied zwischen Messung und Rechnung kann eine unrichtige Annahme über die Nuklidzusammensetzung sein. Bei gleicher Konzentration aber bei einem größeren Anteil Xe-135 oder bei Anwesenheit von Kr-85 wäre der berechnete Wert der ß-Dosisleistung größer.

Vom Kernkraftwerk wird eine mittlere Edelgaskonzentration auf der 52 m-Bühne während der Revision von $1{,}6.10^5$ $Bq.m^{-3}$ Xe-133 und $3{,}4.10^3$ $Bq.m^{-3}$ Kr-85 angegeben*). Diesen Werten entspricht nach der Berechnungsgrundlage eine mittlere ß-Dosisleistung von 1,8 $\mu Sv.h^{-1}$.

Zur Messung der ß-Ortsdosisleistung waren vom Kernkraftwerk Dreifach-TLD auf der 52 m-Bühne während der gesamten Revisionszeit exponiert worden. Die verschiedenen Dreifach-TLD zeigten Werte an, die mittleren γ-Dosisleistungen zwischen 33 und 44 $\mu Sv.h^{-1}$ entsprachen. Ein Beitrag von ß-Strahlung konnte mit Hilfe der Dreifach-TLD nicht festgestellt werden. Bei einer mittleren γ-Dosisleistung von über 30 $\mu Sv.h^{-1}$ können mit den Dreifach-TLD auch keine mittleren ß-Dosisleistungen von 1,8 $\mu Sv.h^{-1}$ nachgewiesen werden. Die Messung mit den Dreifach-TLD zeigt, daß die ß-Dosisleistung erzeugt durch radioaktive Edelgase gering ist.

3.1.1.2 Ortsdosisleistung während der Betriebsphase

Die Ergebnisse der Dosisleistungsmessungen bei der Begehung des Kraftwerkes durch die Arbeitsgruppe während der Betriebsphase sind in Tabelle 5 zusammengestellt. Sehr große Werte der Dosisleistung wurden dabei an drei Stellen gemessen: An der Mutter der Hammerkopfschraube **), einem Inspektionswerkzeug für Brennelemente und im Flutbecken. Die hohen Werte im Flutbecken waren auf kleine Stellen beschränkt und z.T. unzugänglich (2 m Höhe). Die mittlere Dosisleistung im Flutbecken war gering.

Hohe Dosisleistungen wurden auch an einem Brennelementgreifer und bei einer Bodenkontamination festgestellt. Die im Werkstattbereich gemessenen Dosisleistungen waren - abgesehen von der Mutter der Hammerkopfschraube - klein. Die Kontaminationen waren auch kleinflächig. Da aber gerade in diesem Bereich die ß-Dosisleistung sehr viel größer als die γ-Dosisleistung war, und da an den Werkzeugen evtl. längere Zeit hantiert wird, müssen auch diese relativ kleinen Dosisleistungen beachtet werden.

In der Faßabfüllstation und im Dekontaminationsbereich war nur an einer Stelle die ß-Dosisleistung größer als die γ-Dosisleistung.

---

*) Die mittlere Konzentration des Kr-85 war kleiner als der Wert der Nachweisgrenze. Als Wert der mittleren Konzentration wird hier der Wert der Nachweisgrenze angenommen.

**) Hierbei handelt es sich um eine Nachmessung. Die Ergebnisse sind nicht typisch für die Strahlenfelder in der Betriebsphase.

3.1.1.3 Diskussion zur Dosisleistungsmessung

Die Dosisleistung wurde mit zwei Dosimetern unterschiedlichen Typs gemessen. Beide Dosimeter ergänzten sich gegenseitig. Das großvolumige Dosimeter Babyline 31 ist besonders geeignet zur Messung auch kleiner Werte der Dosisleistung und zur schnellen Lokalisation von Gebieten mit erhöhten Werten der Dosisleistung. Das kleinvolumige Dosimeter DL 1 eignet sich besonders zur Messung der Dosisleistung nahe an kleinflächigen Kontaminationen. Je kleiner die Kontamination desto größer ist der Anzeigenunterschied zwischen beiden Dosimetern.

Bei der Beurteilung der Meßergebnisse muß berücksichtigt werden, daß die beschriebenen Messungen solche der Strahlenschutzüberwachung sind, bei denen der Meßort nicht millimetergenau fixiert ist. Bei wiederholter Messung am gleichen Ort, sei es mit einem anderen Dosimeter oder mit demselben Dosimeter aber mit aufgesetzter Kappe, wird nach Augenmaß *) versucht, das Dosimeter wieder an dieselbe Stelle zu bringen. Besonders bei kleinflächigen Kontaminationen hängt das Meßergebnis von der genauen Lage des Meßortes ab. Da keine mechanischen Hilfsmittel zur Justierung der Dosimeter verwendet werden, können bei Messungen Abstandsunterschiede nicht völlig vermieden werden. Bei Nachmessungen weichen die Meßergebnisse im allgemeinen um weniger als 10 % voneinander ab. Da die ß-Dosisleistung als Differenz von zwei Meßwerten berechnet wird, sind, wenn die ß-Dosisleistung klein gegen die γ-Dosisleistung ist, größere Fehler nicht auszuschließen. In diesen Fällen ist der Beitrag der ß-Strahlung zur Strahlenbelastung gering.

Bei einem Vergleich der Meßwerte der Dosimeter Babyline und DL 1 in den Tabellen 2, 3 und 5 an denselben Gegenständen muß berücksichtigt werden, daß im allgemeinen unabhängig voneinander gemessen wurde, daß es sich also nicht um denselben Meßort zu handeln braucht. An derselben Stelle gemessen wurde an der Mutter

---

*) Nur bei den Messungen an der Mutter der Hammerkopfschraube wurde die Lage der Sonde des DL 1 mit Hilfe eines Stativs genau fixiert.

der Hammerkopfschraube (Tabelle 3), an dem Schraubstock und an dem Inspektionswerkzeug für Brennelemente (Tabelle 5). An dem Inspektionswerkzeug lag der Meßort mitten in einer relativ kleinen Öffnung, deren gesamte Innenfläche kontaminiert war. Hier hängt die Dosisleistung offenbar wenig vom genauen Meßort ab. Die mit beiden Dosimetern gemessenen Werte stimmen gut überein. Bei der Hammerkopfschraube unterschieden sich die Werte beider Dosimeter um einen Faktor 5. Am Schraubstock wurde mit dem Dosimeter Babyline die Kontamination festgestellt. Die Meßgeometrie war aber für dieses Dosimeter sehr ungünstig. Der Detektor des Dosimeters paßte nicht zwischen die nahe beieinander stehenden Backen des Schraubstockes. Die Backen schirmten sogar einen Teil des Detektors ab. Das Dosimeter DL 1 wurde deswegen zur genauen Dosisbestimmung benutzt. Wegen dieser ungünstigen Meßgeometrie und anscheinend sehr kleinflächigen Kontamination, unterscheiden sich die Anzeigen der Dosimeter Babyline und DL 1 um einen Faktor 50. Diesen Extremfall sollte man aber nicht verallgemeinern.

3.1.1.3.1 K-Strahlung

Die in diesem Bericht beschriebenen Messungen der ß-Dosisleistung sind Differenzmessungen. Die Methode, Messung ohne und mit Absorber, liefert Anzeigedifferenzen bei Strahlung, die von dem Absorber deutlich geschwächt wird. Im allgemeinen wird γ-Strahlung von dem gewebeäquivalenten Absorber von 1 $g.cm^{-2}$ nicht merklich geschwächt, so daß die Differenz der Anzeigen ohne und mit Absorber der ß-Dosisleistung gleichgesetzt werden kann. Für Photonenstrahlung niedriger Energie kann die Absorption aber nicht mehr vernachlässigt werden. Vom Atomkern ausgesandte γ-Strahlung niedriger Energie ist aber selten. Wischproben im Kernkraftwerk Krümmel haben gezeigt, daß oft Kontaminationen vorkommen, die zu einem größeren Anteil Nuklide enthalten, die durch K-Einfang zerfallen. Die ausgesandte K-Strahlung liegt im Energiebereich von 5 bis 9 keV. Diese Strahlung wird von der Kappe des DL 1 praktisch völlig absorbiert. Es kann deswegen nicht ausgeschlossen werden, daß die Differenz $\dot{H} - \dot{H}_\gamma$ der Dosimeteranzeige ohne und mit Kappe auch einen Dosisleistungsanteil erzeugt durch K-Strahlung enthält. Diese K-Strahlung wird durch dünne Materialschichten sehr leicht absorbiert, und sie verhält sich für die Strahlenschutzüberwachung in vieler Hinsicht wie ß-Strahlung, denn:

- Sie trägt zur Ortsdosisleistung nur an unabgeschirmten Strahlenquellen bei.

- Sie ist wegen der Luftabsorption nur in der Nähe der Strahlenquelle vorhanden.
- Sie wird durch Schutzkleidung stark geschwächt.
- Sie erzeugt bei äußerer Bestrahlung nur eine Hautdosis.
- Sie wird mit üblichen γ-Dosimetern nicht gemessen.
- Die Dosisleistung kann mit dünnwandigen Ionisationskammern gemessen werden.
- Die Dosis kann mit dünnen Thermolumineszenzdosimetern gemessen werden.

Im Gegensatz zur Dosismessung bei ß-Strahlung müssen die dünnen Thermolumineszenzdosimeter zur energieunabhängigen Dosismessung bei K-Strahlung gewebeäquivalent sein. Es konnte gezeigt werden (4), daß bei in Kernkraftwerken auftretenden Kontaminationen, wo im allgemeinen der Anteil der ß-Strahler im Radionuklidgemisch mindestens einige Prozent beträgt, die durch K-Strahlung erzeugte Dosisleistung klein gegen die durch ß-Strahlung erzeugte Dosisleistung ist. Aus all diesen Gründen wird im vorliegenden Bericht nicht unterschieden zwischen Dosisleistung erzeugt durch K-Strahlung und der durch ß-Strahlung. Die Differenz $\dot{H} - \dot{H}_\gamma$ wird als ß-Dosisleistung bezeichnet. Für diesen Bericht ist es unbedeutend, wenn die so bezeichnete ß-Dosisleistung einen kleinen Beitrag von K-Strahlung enthält.

3.1.2 Abschirmmessungen

Abbildung 2 zeigt ein typisches Ergebnis einer Abschirmmessung. Die gesamte Dosisleistung $\dot{H}$ und die ß-Dosisleistung $\dot{H}_\beta$ nehmen in 2 cm Abstand von der Strahlenquelle mit zunehmender Absorberdicke stark ab. In 30 cm Abstand ist die Abnahme der Dosisleistung mit zunehmender Absorberdicke deutlich geringer. Nach den Messungen der Arbeitsgruppe bei Begehung des Kernkraftwerkes wird in 2 cm Abstand von der Strahlenquelle - von einer Ausnahme an der ND-Turbine abgesehen - die ß-Dosisleistung durch einen Absorber von 50 $mg.cm^{-2}$ um mindestens einen Faktor 10 geschwächt. Am Läufer der ND-Turbine wurde die ß-Dosisleistung durch den gleichen Absorber nur um einen Faktor 7,5 geschwächt. Diese großen Absorptionsfaktoren sind ein Hinweis auf ß-Strahlung mit überwiegend niedriger Energie. In größerem Abstand von der Strahlenquelle wird die Dosisleistung durch den gleichen Absorber erheblich weniger geschwächt als nahe an der Strahlenquelle. Da Luft niederenergetische ß-Strahlung erheblich stärker als ß-Strahlung hoher Energie absorbiert, wird durch Abstandsvergrößerung die ß-Strahlung aufgehärtet. Diese aufgehärtete ß-Strahlung wird nicht mehr so leicht absorbiert.

Bei ß-Strahlung kleiner Energie bietet Schutzkleidung auch Schutz vor dieser Strahlung. Werden z.B. an den Händen gleichzeitig Stoff- und Gummihandschuhe getragen, so sind die Hände mit einem Absorber von etwa 50 $mg.cm^{-2}$ bedeckt. *) Abgesehen von dem Meßpunkt an der ND-Turbine, an dem das Verhältnis ß-Dosisleistung zu γ-Dosisleistung sehr groß ist, wird durch einen Absorber von 50 $mg.cm^{-2}$ die ß-Dosisleistung so verringert, daß $\dot{H}_\beta$ kleiner 1/2 $\dot{H}_\gamma$ ist.

Das Ergebnis der Abschirmmessungen wird durch die Nuklidspektren der Wischproben gestützt. Auf Wischproben von der Hammerkopfschraube, dem Speisewasserbehälter, dem Schraubstock und dem Fußboden im Dekontaminationsraum wurden praktisch nur ß-Strahler kleiner Maximalenergie (Co-60, Fe-59) und K-Einfänger (Cr-51, Mn-54, Co-58, Zn-65) festgestellt. An der ND-Turbine, wo der Absorptionsfaktor etwas geringer war, wurde auf den Wischproben ein großer Anteil J-131, ein ß-Strahler mittlerer Maximalenergie (0,61 MeV), gefunden. Nur bis zu 1 % enthielten diese Wischproben auch J-133, einen ß-Strahler hoher Energie (1,2 MeV). Die ß-Strahlung des J-131 wird durch die Schutzkleidung noch gut geschwächt, aber dieses Nuklid beeinflußt die Absorptionsmessungen.

Die Ergebnisse bei den Begehungen des Kernkraftwerkes durch die Arbeitsgruppe könnten zu dem Schluß führen, daß nur Strahlenfelder mit niederenergetischer ß-Strahlung vorhanden waren. Darum ist eine Abschirmmessung, die im Auftrage des Kernkraftwerkes am Pumpenkreisel einer Reaktorwasserreinigungspumpe durchgeführt wurde, von besonderer Bedeutung. Die Dosisleistung wurde am Pumpenkreisel in mehreren, kleineren Abständen gemessen. Die Meßwerte mit gleichem Absorber aber bei unterschiedlichem Abstand streuten stark. Deswegen wurden aus den Messungen in 1, 2, 3, 6, 10 und 12 cm Abstand für jeden Abstand die Verhältnisse $(\dot{H}:\dot{H}_o)_x$ und $(\dot{H}_\beta:\dot{H}_{\beta o})_x$ berechnet. Dabei sind $\dot{H}_o$ bzw. $\dot{H}_{\beta o}$ die gesamte Dosisleistung bzw. die ß-Dosisleistung gemessen ohne Absorber im Abstand x. Dann wurden die Werte

---

*) Die flächenbezogene Masse eines Stoffhandschuhes des Kernkraftwerkes Krümmel wurde zu 23,2 $mg.cm^{-2}$ und die eines Gummihandschuhes zu 36,9 $mg.cm^{-2}$ bestimmt. Da die flächenbezogene Masse aber bei verschiedenen Handschuhen unterschiedlich sein kann, wird oben von einem Wert von 50 $mg.cm^{-2}$ für beide Handschuhe zusammen ausgegangen.

$\dot{H}:\dot{H}_o$, $\dot{H}_\beta:\dot{H}_{\beta o}$ und $\dot{H}_\gamma:\dot{H}_o$ für die Abstände x = 1 bis 12 cm gemittelt und in Abbildung 3 dargestellt. Für einen Absorber mit der flächenbezogenen Masse von 50 mg.cm^{-2} wird in diesem Fall die ß-Strahlung nur um einen Faktor 4 geschwächt. Da $\dot{H}_\gamma:\dot{H}$ relativ groß ist, ist zwar hinter dem Absorber von 50 mg.cm^{-2} die ß-Dosisleistung nur 40 % der γ-Dosisleistung, die Absorptionsmessung weist aber auch auf einen ß-Strahler hoher Energie hin. Dies wird durch eine Wischprobe vom Pumpenkreisel bestätigt. Auf dieser wurden 1,3 % Sb-124 ($E_{\beta max}$ = 2,32 MeV) gefunden. Obwohl Sb-124 nur mit geringem Anteil vorhanden ist, macht es sich bei der Absorptionsmessung deutlich bemerkbar. Dies Meßergebnis zeigt, daß ß-Strahlung großer Energie nicht immer ausgeschlossen werden kann.

Bei den Vergleichsmessungen in Abschnitt 3.1.1.1.1. an der Mutter der Hammerkopfschraube war die Vermutung geäußert, daß hier K-Strahlung mit zur Dosisleistung beiträgt. Deswegen wurden die Abschirmmessungen an der Mutter der Hammerkopfschraube bei den Messungen in der Betriebsphase wiederholt und ergänzt. Zusätzlich zu den Messungen mit Schutzkleidung wurden Messungen mit Aluminiumfolien als Absorber durchgeführt. Aluminium sollte bei gleichem Wert der flächenbezogenen Masse praktisch die gleiche Absorption für ß-Strahlung besitzen wie die Schutzkleidung. Niederenergetische Photonenstrahlung wird durch Aluminium aber erheblich mehr absorbiert als durch Schutzkleidung. *) Die Meßergebnisse sind in Abbildung 4 dargestellt. Aus der Abbildung folgt, daß die Strahlung durch Aluminium eindeutig mehr geschwächt wird als durch Schutzkleidung. Die Unterschiede betragen aber nur etwa 10 %. Wegen der relativ kurzen Halbwertzeit der K-Einfänger hat sich vom Zeitpunkt der Vergleichsmessung bis zum Zeitpunkt dieser Absorptionsmessung das Nuklidspektrum zugunsten des Co-60 verschoben (Tabelle 6). Bei der Vergleichsmessung während der Revision betrug der Anteil der Nuklide, die ganz oder größtenteils durch K-Einfang zerfallen, ca. 40 %, bei der späteren Absorptionsmessung während der Betriebsphase aber nur noch 11 %. Die Unterschiede zwischen den Absorptionsmessungen mit Aluminium und mit Schutzkleidung sprechen für einen Beitrag der

---

*) Massenabsorptionskoeffizient für 5 keV γ-Strahlung von Kohlenstoff (als Näherung für das Material der Schutzkleidung) 19,1 cm^{2}g^{-1} und von Aluminium 185 cm^{2}g^{-1}. Für 8 keV sind die entsprechenden Werte gleich 4,39 cm^{2}g^{-1} und 50 cm^{2}g^{-1}.

K-Strahlung zur Ortsdosisleistung. Das Auftreten von K-Strahlung erhärtet die in Abschnitt 3.1.1.1.1 geäußerte Vermutung, daß die verglichen mit den Anzeigen der Dreifach-TLD (Detektormaterial LiF) zu große Anzeige des Dünnschicht-TLD (Detektormaterial $CaSO_4$:Tm) durch K-Strahlung verursacht wurde.

3.1.3 Messung von Personendosen

Bei ausgewählten Arbeiten während der Revision wurden Thermolumineszenzdosimeter getragen (Dreifach-TLD). Trageorte der Dosimeter waren im allgemeinen die Hand oder die Brust. Überwacht wurden insgesamt 38 Personen. Repräsentative Ergebnisse sind in Tabelle 7 angegeben. Zum Vergleich enthält diese Tabelle auch die Anzeigen des an der Brust getragenen, digitalen Dosimeters. Bei Beurteilung der Werte in Tabelle 7 muß berücksichtigt werden, daß die Detektoranzeigen häufig in der Nähe des Wertes der unteren Nachweisgrenze liegen, und die Werte deshalb mit einer etwas größeren statistischen Meßunsicherheit behaftet sind. Die Meßergebnisse für verschiedene Tätigkeiten werden getrennt diskutiert.

3.1.3.1 Inspektionsarbeiten am Regelstabantrieb

Bei der Revision wurde ein Regelstabantrieb ausgebaut, seine Antriebsmechanik wurde in Baugruppen zerlegt, die Einzelteile wurden gereinigt (dekontaminiert) und inspiziert. Anschließend wurden die Baugruppen wieder zusammengefügt und als kompletter Steuerstabantrieb wieder in den Reaktor eingesetzt. Die feinmechanischen Arbeiten und das Dekontaminieren wurden in handwerklicher Arbeit ohne den Gebrauch fernbedienter Werkzeuge durchgeführt. Als Schutzkleidung wurden über der Unterwäsche zwei Overalls und ein wasserundurchlässiger Kunststoffanzug getragen. Die Hände waren durch Gummi- und Stoffhandschuhe geschützt. Es wurde eine Atemschutzmaske getragen.

Bei den Meßwerten der Dreifach-TLD fällt auf, daß die Anzeigen der drei Detektoren eines Dreifach-TLD sich im allgemeinen wenig voneinander unterscheiden. Das Verhältnis $H_1:H_3$ der Anzeige des ersten Detektors zur Anzeige des dritten Detektors ist im Mittel gleich $1{,}15 \pm 0{,}19$. Nur in einem nicht in Tabelle 7 aufgeführten Fall ist bei dem an der Brust getragenen Dosimeter $H_1:H_3 = 1{,}7$.

Dieser Wert kann als Ausreißer angesehen werden, oder - was aufgrund der Meßwerte in Abschnitt 3.1.3.2 nicht auszuschließen ist - das Ergebnis weist auf eine geringere Dicke der Schutzkleidung auf der Brust hin. Der im Mittel sehr kleine Wert von $H_1:H_3$ zeigt, daß in diesen Fällen β-Strahlung nur unerheblich zur Dosimeteranzeige beiträgt.

Auf einer Wischprobe vom Steuerstabantrieb wurden nur Mn-54, Co-58, Co-60 und Zn-65 gefunden. Auch aufgrund dieses Ergebnisses ist keine β-Strahlung unter der Schutzkleidung zu erwarten.

In Tabelle 7 zeigen zwei Dosimeter, die gleichzeitig an der Hand oder an der Brust getragen wurden, z.T. unterschiedlich große Werte an. Da zwei Dosimeter nie genau am gleichen Ort getragen werden können, sind Anzeigeunterschiede zu erwarten. Die Unterschiede in Tabelle 7 sind nicht außergewöhnlich groß. Bei den Personen 3 und 4 muß zusätzlich berücksichtigt werden, daß die Werte des an der Brust getragenen Dreifach-TLD nahe bei der Nachweisgrenze von 1 mSv liegen und deswegen mit einer sehr großen statistischen Meßunsicherheit behaftet sind.

Von acht Personen, die bei den Inspektionsarbeiten am Regelstabantrieb mit Dreifach-TLD ausgerüstet waren, lag bei sechs Personen das Verhältnis der Anzeige H_1 des ersten Detektors des Handdosimeters zur Anzeige H_γ des an der Brust getragenen digitalen Dosimeters zwischen 1,2 und 2,3. Bei den zwei Personen, die Dekontaminationsarbeiten ausgeführt haben, lag dieses Verhältnis bei 5,0 bzw. 15. Durch die Dekontamination wurde die Dosisleistung am Regelstabantrieb (Tabelle 2 b) erheblich verkleinert. Die mit diesen Arbeiten beschäftigten Personen erhielten, da die Dekontaminationsarbeiten ohne fernbedientes Werkzeug durchgeführt wurden, eine im Verhältnis zur Dosis in Brusthöhe sehr große Handdosis.

3.1.3.2 Instandhaltungsarbeiten an Hammerkopfschrauben

Für diese Arbeit wurde die Hammerkopfschraube fernbedient zum Montageplatz in eine Abschirmung mit Bearbeitungsaussparung gebracht. Dort wurde die Spannmutter gelöst, das Gewinde inspiziert, nachgeschnitten, und die Schraube wurde wieder zum Neueinsatz hergerichtet. Durch Benutzung einfachen Werkzeuges bestand keine Notwendigkeit, aktivierte oder kontaminierte Gegenstände zu berühren. Es wurde bei diesen Arbeiten die gleiche Schutzkleidung getragen wie bei der Inspektion des Regelstabantriebes. Die

ß-Strahlung war niederenergetisch. Auf einer Wischprobe wurden außer den Nukliden, die am Regelstabantrieb gefunden wurden, nur noch Cr-51, ein K-Strahler, nachgewiesen. Das mittlere Verhältnis der Anzeige H_1 des ersten Detektors der Dreifach-TLD an der Hand zur Anzeige H_γ des digitalen Dosimeters war gleich 2,3 ± 1,1. Der größte Wert war gleich 5,0. Bei den Dreifach-TLD fällt auf, daß bei den an der Brust getragenen Dosimetern das mittlere Verhältnis $H_1:H_3$, der Anzeige des ersten zur Anzeige des dritten Detektors, gleich 1,53 ± 0,43 ist. Der Maximalwert dieses Verhältnisses war 2,2. Für die an der Hand getragenen Dosimeter dagegen war das mittlere Verhältnis $H_1:H_3$ = 1,08 ± 0,08. Der Maximalwert war 1,2. Daraus folgt, daß von den Dreifach-TLD an der Brust auch ß-Strahlung gemessen wird. Am Handdosimeter wurde keine ß-Strahlung gemessen, da diese durch die dickere Schutzkleidung absorbiert worden war.

Für eine Abschätzung der Hautdosis muß berücksichtigt werden, daß das Dreifach-TLD an der Brust über einem Overall getragen wurde. Die flächenbezogene Masse dieses Overalls beträgt etwa 12 $mg.cm^{-2}$. Ein solcher Overall schwächt die ß-Strahlung, da diese niederenergetisch ist, erheblich. Ein genauer Wert für diese Abschwächung kann ohne zusätzliche Messung nicht angegeben werden. Bei den an der Brust getragenen Dreifach-TLD ist innerhalb der Fehlergrenzen $H_2 = H_3$. Die Anzeige des zweiten Detektors des Dreifach-TLD wird offenbar nicht mehr von der ß-Strahlung beeinflußt. Da der erste Detektor eine flächenbezogene Masse von 29 $mg.cm^{-2}$ besitzt, heißt dies, daß durch einen Absorber mit 2,5 mal so großer flächenbezogener Masse wie die des Overalls die ß-Strahlung völlig absorbiert würde.

3.1.3.3 Reinigungsarbeiten im Flutraum der Reaktorbedienungsbühne

Bei Reinigungsarbeiten des Flutraumes wurde dieser bei geringer Wasserüberdeckung begangen. Als Schutzkleidung wurden zwei Overalls und ein PVC-Anzug, Gummi- und Stoffhandschuhe, Gummistiefel und eine Atemschutzmaske benutzt. Zwei von insgesamt sechs Zweiergruppen wurden mit Dreifach-TLD ausgerüstet. Die TLD wurden gemeinsam mit digitalen Dosimetern am Oberschenkel in einer Tasche des Overalls getragen. Auf einer Wischprobe wurden neben Nukliden, die niederenergetische ß-Strahlen aussenden oder durch K-Einfang zerfallen, noch 2 % Sb-124 festgestellt.

Bei den Dosimeteranzeigen fällt auf, daß sich die Anzeigen der am gleichen Ort getragenen Dosimeter (Digitales Dosimeter und Dreifach-TLD) erheblich unterscheiden und daß bei drei von vier Dreifach-TLD die Anzeige H_1 des ersten Detektors deutlich größer ist als die Anzeige H_3 des dritten Detektors. Weiter fällt auf, daß die Einzelwerte der Dosimeteranzeigen der beiden Personen einer Zweiergruppe - abgesehen von einem Wert von H_1 - jeweils gut übereinstimmen. In Anbetracht der für die verwendeten, als Handdosimeter konzipierten Dreifach-TLD geringen Dosen, kann auch das Abweichen eines Wertes von H_1 als nicht gravierend betrachtet werden. Die beiden Dreifach-TLD, die jeweils von den Personen einer Gruppe getragen wurden, waren von verschiedenen Meßstellen ausgegeben und ausgewertet worden. Die gute Übereinstimmung der unabhängig voneinander ausgewerteten Dreifach-TLD ist eine gute Bestätigung für die Zuverlässigkeit dieser Dosimeter auch bei kleinen Dosen.

Ausgehend von den γ-Dosen der digitalen Dosimeter kann zunächst festgestellt werden, daß sich beide Gruppen in unterschiedlichen Strahlenfeldern aufgehalten haben, denn bei Berücksichtigung der Einsatzzeit ist bei Gruppe B die mittlere γ-Dosisleistung etwa doppelt so hoch wie bei Gruppe A. Für den Aufenthalt in unterschiedlichen Strahlenfeldern spricht auch das Verhältnis der Anzeige H_1 des ersten Detektors des Dreifach-TLD zur Anzeige H_γ des digitalen Dosimeters. Dieses Verhältnis ist bei Gruppe A etwa 14 und bei Gruppe B etwa 2,9.

Die Tatsache, daß bei drei der vier Dreifach-TLD die Anzeige H_1 des ersten Detektors deutlich größer als die Anzeige H_3 des dritten Detektors ist, zeigt einen Beitrag von ß-Strahlung zur Personendosis an. Die Anzeige H_3 des dritten Detektors des Dreifach-TLD ist z.T. erheblich größer als die Anzeige H_γ des digitalen Dosimeters. Da diese Verhältnisse H_3:H_γ bei den zwei Personen derselben Gruppe etwa gleich sind, ist es äußerst unwahrscheinlich, daß die Unterschiede zwischen H_3 und H_γ darauf zurückzuführen sind, daß beide Dosimeter nicht am gleichen Ort getragen wurden. Wird dies ausgeschlossen, dann ist die einzig

mögliche Erklärung für die Unterschiede zwischen H_3 und H_γ ein Dosisbeitrag erzeugt durch harte ß-Strahlung. Bei harter ß-Strahlung ist $H_1:H_2 \approx 1$ und $H_2:H_3 \approx 1{,}3$. In Tabelle 7 ist $H_1:H_2$ größer als eins, wegen eines Anteiles weicher ß-Strahlung. Dieses Verhältnis kann nicht für die Entscheidung, ob harte ß-Strahlung vorhanden ist, herangezogen werden. Da H_2 und H_3 relativ klein sind (etwa doppelt so groß wie der Wert der Nachweisgrenze), braucht die Tatsache, daß $H_2 \approx H_3$ ist, nicht gegen harte ß-Strahlung zu sprechen. Da auf einer Wischprobe aus dem Flutbecken ein ß-Strahler mit hoher Maximalenergie, Sb-124 (E_{max} = 2,32 MeV), gefunden wurde, muß davon ausgegangen werden, daß die Anzeigen H_2 und H_3 hauptsächlich durch ß-Strahlung hoher Energie erzeugt wurden. Die Schwächung der hochenergetischen ß-Strahlung durch den unter dem Dreifach-TLD getragenen Overall kann vernachlässigt werden. Der in der Anzeige H_1 des ersten Detektors des Dreifach-TLD enthaltene Beitrag von niederenergetischer ß-Strahlung wird durch den Overall aber zum größten Teil absorbiert. Die Hautdosis entspricht dann etwa der Anzeige H_3 des dritten Detektors des Dreifach-TLD. Bei Gruppe A ist etwa 88 % der Hautdosis durch ß-Strahlung erzeugt. Bei Gruppe B sind dies 31 bzw. 66 %. Eine Begründung, warum bei den zwei Arbeitsgruppen der durch ß-Strahlung erzeugte Anteil der Hautdosis verschieden ist, wurde nicht gefunden. Eine mögliche Erklärung ist ein unterschiedliches Arbeitsverhalten beider Gruppen.

Im gesäuberten Flutbecken war vom Kernkraftwerk eine Abschirmungsmessung durchgeführt worden (siehe Anlage 4). Danach handelt es sich um relativ weiche ß-Strahlung. Allerdings wurden die Messungen nur bis zu Absorbern von etwa 60 $mg.cm^{-2}$ durchgeführt, so daß ein Anteil hochenergetischer ß-Strahlung nicht ausgeschlossen werden kann.

3.1.3.4 Instandhaltungsarbeiten an einer Pumpe des Reaktorwasserreinigungssystems

Die Instandhaltungsarbeiten an dieser, mit Primärwasser beaufschlagten Pumpe wurden mit zusätzlicher Schutzkleidung durchgeführt. Drei Personen arbeiteten ca. neun Stunden lang an der Pumpe. Die maximale ß-Dosisleistung in 1 cm Abstand betrug 37 $mSv.h^{-1}$ und die γ-Dosisleistung 10 $mSv.h^{-1}$. Bei den Arbeiten konnte ein größerer Handhabungsabstand eingehalten werden. Als Kontamination wurden auf einer Wischprobe außer K-Einfängern und ß-Strahlern

kleiner Maximalenergie noch 1,3 % Sb-124; 0,7 % J-131 und 1,3 % Cs-134 festgestellt. Dieser Anteil von ß-Strahlung mittlerer (J-131, Cs-134) und hoher Maximalenergie wurde auch bei den Abschirmmessungen deutlich (Abb. 3).

Die Anzeigen H_1 der ersten Detektoren der an der Hand getragenen Dreifach-TLD waren zwischen 1,3 und 3,7 mal so groß wie die des zugehörigen digitalen Dosimeters an der Brust. Dies weist auf einen größeren Abstand der Hände bei der Arbeit hin. Die Hände waren nicht längere Zeit sehr nahe an der Strahlenquelle.

Das Verhältnis der Anzeige H_1 des ersten zur Anzeige H_3 des dritten Detektors des Dreifach-TLD lag zwischen 1,3 und 1,5, ein eindeutiger Hinweis auf einen Dosisanteil durch ß-Strahlung. Aus den Abschirmungsmessungen (Abb. 3) folgt, daß hinter einem Absorber von 50 bis 60 $mg.cm^{-2}$ die ß-Dosisleistung nur noch etwa 30 - 40 % der γ-Dosisleistung beträgt. Deshalb kann angenommen werden, daß die Anzeige H_3 des dritten Detektors des Dreifach-TLD (anders als in Abschnitt 3.1.3.3) überwiegend durch γ-Strahlung erzeugt wird. Damit in Übereinstimmung ist, daß das Verhältnis $H_3:H_\gamma$, des dritten Detektors des Handdosimeters zur Anzeige des digitalen Dosimeters, zwischen 0,9 und 2,4 liegt. Enthielte H_3 noch einen größeren, durch ß-Strahlung erzeugten Anteil, so wäre das Verhältnis der γ-Dosis der Hand zur γ-Dosis an der Brust z.T. erheblich kleiner 1, ein unwahrscheinliches Ergebnis. Daß H_3 keinen wesentlichen Anteil von ß-Strahlung mehr enthält, folgt auch - soweit man diesen Schluß bei den kleinen Werten des Dosimeters an der Brust überhaupt ziehen darf - aus der Übereinstimmung von H_3 und H_γ für die an der Brust getragenen Dosimeter.

3.1.3.5 Einbringen von Ausgleichsbohrungen in Abblaserohre in der Kondensationskammer

Die Arbeiten in der Kondensationskammer wurden mit speziellen Schutzanzügen, Handschuhen und Atemschutzmasken durchgeführt. Die mittlere γ-Dosisleistung betrug etwa 0,5 $mSv.h^{-1}$. In 1 cm Abstand von den Rohrleitungen wurden maximal 55 $mSv.h^{-1}$ ß-Dosisleistung und 5 $mSv.h^{-1}$ γ-Dosisleistung gemessen. Nach Wischprobenauswertungen bestand die Kontamination im wesentlichen aus Co-60 und Mn-54, Nukliden, die niederenergetische ß-Strahlung oder K-Strahlung emittieren.

Bei den Arbeiten wurden elf Personen mit Dreifach-TLD ausgerüstet. Das Verhältnis der Anzeige des ersten Detektors des an der Hand getragenen Dreifach-TLD zur Anzeige des digitalen Dosimeters liegt bei neun Personen zwischen 1,5 und 3,1. Bei zwei Personen ist der Wert dieses Verhältnisses deutlich größer, nämlich gleich 11 bzw. 4,6. Diese beiden Personen müssen mit der Hand in der Nähe kontaminierter Stellen hoher Dosisleistung gearbeitet haben.

Das Verhältnis $H_1:H_3$ der Anzeige des ersten Detektors zur Anzeige des dritten Detektors des Dreifach-TLD ist in keinem Fall größer 1,2. Es gibt somit keinen eindeutigen Hinweis auf einen Beitrag der ß-Strahlung zur Handdosis. Die ß-Strahlung war offensichtlich, wie auch aus dem Ergebnis der Wischprobe folgt, niederenergetisch und wurde durch die Schutzkleidung absorbiert.

Bei den Arbeiten in der Kondensationskammer fällt auf, daß das Verhältnis $H_1:H_3$ häufig kleiner 1 ist. Da solche Werte in 10 von 17 Fällen auftreten, kann dies nicht durch statistische Meßunsicherheiten bedingt sein. Werte von $H_1:H_3$ kleiner 1 können auftreten in Strahlenfeldern mit γ-Strahlung hoher Energie bei fehlendem Sekundärelektronengleichgewicht. Dies ist eine mögliche Erklärung für die kleinen Werte des Verhältnisses $H_1:H_3$.

3.1.4 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse im Kernkraftwerk Krümmel

1. Im Kernkraftwerk Krümmel wurden sowohl während der Revisionsphase als auch während der Betriebsphase an mehreren Stellen ß-Dosisleistungen festgestellt. Maximal wurden 200 $mSv.h^{-1}$ bei Inspektionsarbeiten an einem Regelstabantrieb gemessen. An einigen der Stellen, wo höhere Werte der ß-Dosisleistung vermutet worden waren, z.B. an den Turbinen, im Speisewasserbehälter und in einer Frischdampfleitung, wurden nur relativ geringe ß-Dosisleistungen festgestellt. Die ß-Strahlung ging vielfach von kleinflächigen Kontaminationen aus, und auch an großflächig kontaminierten Flächen z.B. im Flutbecken waren die Gebiete mit großen Werten der ß-Dosisleistung relativ klein.

2. Das Verhältnis $\dot{H}_\beta:\dot{H}_\gamma$, der ß- zur γ-Dosisleistung, war sehr unterschiedlich. Es wurden sowohl Werte von $\dot{H}_\beta:\dot{H}_\gamma$ kleiner 1 als auch größer 40 ermittelt.

3. Mit den im Kernkraftwerk früher allein gebräuchlichen γ-Ortsdosisleistungsmeßgeräten kann die ß-Dosisleistung nicht gemessen werden. Von den digitalen Personendosimetern wird die ß-Strahlung ebenfalls nicht erfaßt.

4. Mit Hilfe von Abschirmmessungen wurden sowohl Stellen mit hauptsächlich niederenergetischer als auch solche mit hochenergetischer ß-Strahlung festgestellt. In den meisten Fällen handelt es sich um niederenergetische ß-Strahlung, die von der üblichen Schutzkleidung gut absorbiert wird. So wird z.B. durch das gleichzeitige Tragen von Gummi- und Stoffhandschuhen bei niederenergetischer ß-Strahlung die ß-Dosisleistung um etwa einen Faktor 10 verkleinert. Im allgemeinen ist dann die ß-Dosisleistung erheblich kleiner als die γ-Dosisleistung. Stoffhandschuhe allein schwächen die ß-Strahlung noch nicht genügend.

5. In Strahlenfeldern mit niederenergetischer ß-Strahlung nimmt das Verhältnis der ß-Dosisleistung zur γ-Dosisleistung mit zunehmender Entfernung von der Strahlenquelle stark ab.

6. An den Stellen mit niederenergetischer ß-Strahlung wurden mit Hilfe von Wischproben als Radionuklide hauptsächlich Co-60 und K-Einfänger festgestellt.

7. An einigen Stellen wurden Kontaminationen mit hochenergetischen ß-Strahlern festgestellt. Sie enthielten Sb-124. In diesen Strahlenfeldern wird die ß-Dosisleistung durch die Schutzkleidung nur um etwa einen Faktor 4 verkleinert.

8. Bei verschiedenen Tätigkeiten, bei denen ß-Strahlung erwartet wurde, wurden Teilkörperdosimeter eingesetzt. Diese Dosimeter wurden von insgesamt 38 Personen getragen. Eindeutig durch ß-Strahlung verursachte Dosen wurden bei 18 Personen festgestellt. Diese hatten Reinigungsarbeiten im Flutraum (4 Personen) und Instandhaltungsarbeiten an einer Pumpe des Reaktorwasserreinigungssystems (3 Personen) bzw. an Hammerkopfschrauben (11 Personen) ausgeführt. Im Flutraum und an der Pumpe enthielten die

Kontaminationen Sb-124. Bei den Reinigungsarbeiten im Flutraum wurden die Dosimeter von zwei Arbeitsgruppen zu je zwei Mann am Oberschenkel getragen. Das Verhältnis der β-Dosis zur γ-Dosis war bei beiden Arbeitsgruppen unterschiedlich. Bei einer Gruppe waren etwa 88 % der Dosis durch β-Strahlung erzeugt, bei der anderen Gruppe nur etwa 31 bzw. 66 %. Die Hautdosis an den Oberschenkeln betrug etwa 2,0 mSv. Bei den Arbeiten an der Reaktorwasserreinigungspumpe trug β-Strahlung zur Handdosis bei. Etwa 40 % der Handdosis war von β-Strahlung erzeugt. Die Werte der Handdosis lagen zwischen 1,0 und 3,3 mSv.

Bei den Instandhaltungsarbeiten an Hammerkopfschrauben wurden auf Wischproben nur β-Strahler kleiner (Co-60) und mittlerer Maximalenergie (Co-58; 15 % β^+ Strahlung) und K-Strahler festgestellt. Deswegen konnte bei diesen Arbeiten nur bei den an der Brust getragenen Dosimetern eindeutig ein β-Anteil nachgewiesen werden. An der Hand, an der die Schutzkleidung dicker war, wurde ein β-Beitrag zur Personendosis nicht festgestellt. Der maximale Wert der an der Brust gemessenen Personendosis betrug 3,0 mSv. Von diesen 3,0 mSv waren etwa 50 % durch γ-Strahlung erzeugt. Da die β-Strahlung im wesentlichen niederenergetisch war und da das Dosimeter an der Brust über dem Overall getragen wurde, wurde die β-Strahlung noch zum Teil vom Overall absorbiert. Die bei den Arbeiten an der Hammerkopfschraube durch β-Strahlung erzeugte Hautdosis war daher gering.

9. Bei Bestimmung der β-Dosisleistung, die durch radioaktive Edelgase erzeugt wurde, wurden etwas größere Werte gemessen als die, die aus den Messungen der Raumluftkonzentration anhand der Berechnungsgrundlage (3) abgeschätzt wurden. Diese Dosisleistung ist aber gering. Unter Annahme einer mittleren Edelgaskonzentration von $1{,}6.10^5$ $Bq.m^{-3}$ Xe-133 und $3{,}4.10^3$ $Bq.m^{-3}$ Kr-85 (Siehe Fußnote im Abschnitt 3.1.1.1.2) ergibt sich eine mittlere β-Dosisleistung von 1,8 $\mu Sv.h^{-1}$.

3.1.4.1 **Vergleich der festgestellten Dosen mit den Vorschriften des § 63 StrlSchV**

Für die Hände, Unterarme, Unterschenkel, Knöchel und Füße schreibt § 63 Abs. 3 Satz 4 StrlSchV (6)*) vor, daß die Dosis an einem dieser Körperteile mit einem zweiten Dosimeter zu messen ist, wenn vorauszusehen ist, daß an diesem Körperteil 1/3 der Dosisgrenzwerte nach Anlage X Spalte 1 Nr. 2 StrlSchV überschritten werden. Da die Überwachung mit Teilkörperdosimetern im Kernkraftwerk Krümmel nur für einen kurzen Zeitraum durchgeführt wurde, kann bei Anwendung des § 63 Abs. 3 Satz 4 StrlSchV nicht von dem für ein Jahr geltenden Grenzwert ausgegangen werden. Analog wie in der Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle (5), in der für einen Bezugszeitraum von einem Monat die Überprüfungsschwelle bei einem Zehntel des Grenzwertes festgelegt wurde, sollte auch bei Anwendung von § 63 Abs. 3 Satz 4 StrlSchV vorgegangen werden. 1/3 des Dosisgrenzwertes für die Hand entspricht dann einer Monatsdosis von 20 mSv. Der maximale Wert der Handdosis wurde bei Arbeiten zum Einbringen der Ausgleichsbohrungen in Abblaserohre in der Kondensationskammer festgestellt. Er betrug 15 mSv. Wenn in demselben Monat bei Berücksichtigung auch anderer Arbeiten der Wert der Handdosis unter 20 mSv geblieben wäre, wäre das Tragen eines Handdosimeters nicht erforderlich gewesen. Bei den Arbeiten zum Einbringen der Ausgleichsbohrungen trug ß-Strahlung nicht mit zur Handdosis bei. Die höchste gemessene Handdosis, bei der ß-Strahlung mit zur Dosis beitrug, wurde bei Arbeiten an der Pumpe des Reaktorwasserreinigungssystems gemessen. Der Wert dieser Handdosis war 3,3 mSv.

Der § 63 Abs. 3 Satz 4 StrlSchV bezieht sich nicht auf Hautdosen. Für das Tragen eines Personendosimeters zur Bestimmung der Hautdosis gibt es keine entsprechende Vorschrift. Wendet man § 63 Abs. 3 Satz 4 analog auf die Hautdosen an, so entspricht 1/3 des Grenzwertes einer Monatsdosis von 10 mSv. Die höchsten Hautdosen, zu denen die ß-Strahlung beitrug, wurden bei den Reinigungsarbeiten im Flutraum am Oberschenkel und bei den Arbeiten an der Hammerkopfschraube an der Brust ermittelt. Die gemessenen Werte von 2,8 bzw. 3,0 mSv liegen erheblich unterhalb des Wertes von 10 mSv.

---

*) In diesem Bericht wird die zur Zeit der Messungen gültige Form der StrlSchV zugrunde gelegt.

3.1.4.2 **Augenlinsen- und Gonadendosis**

Bei β-Strahlung müssen bei Bestrahlung von außen neben den Teilkörperdosen der Extremitäten und der Haut eventuell noch die Teilkörperdosen der Augen und der Gonaden berücksichtigt werden.

Nach der Berechnungsgrundlage (3) ist "eine Teilkörperdosisabschätzung für die Augenlinse .... nicht erforderlich, wenn die Maximalenergie der β-Strahlung kleiner als 2,5 MeV ist und die Hautdosis in der Nähe der Augen den für die Augenlinse vorgesehenen Körperdosisgrenzwert nicht überschreitet". Die Augenlinsendosis braucht deswegen nicht betrachtet zu werden.

Für die Gonaden gilt derselbe Grenzwert von 50 mSv wie für die Ganzkörperdosis. Der Beitrag der β-Strahlung zur Gonadendosis darf deswegen nicht ohne weiteres vernachlässigt werden. Er wird deswegen für die Arbeiten im Flutraum abgeschätzt. Die effektive Gewebetiefe und damit auch die Dosis des Testes hängt von der Energie der β-Strahlung ab (3). Es wird als konservative Annahme davon ausgegangen, daß die gemessene β-Dosis zu 100 % erzeugt wurde durch die β-Strahlung des Sb-124. Trifft unabgeschirmte β-Strahlung von 2,3 MeV Maximalenergie - nur 23 % der Sb-124 β-Strahlung gehört zu dem Partialspektrum mit dieser Energie - auf die Haut in Höhe des Testes, dann beträgt die Testesdosis weniger als 4 % der Dosis an der Hautoberfläche. Die β-Strahlung, die bei den Arbeiten im Flutraum gemessen wurde, war aber schon geschwächt durch Luft und die Schutzkleidung über dem Dosimeter. Deswegen ist die Annahme von 4 % zu hoch. Zusätzlich wird die β-Strahlung noch geschwächt durch die Schutzkleidung unter dem Dosimeter bis zur Hautoberfläche. Letztere besteht aus einem Overall und Unterwäsche. Es wird deswegen angenommen, daß etwa 2 % der an dem Oberschenkel gemessenen β-Dosis zur Testesdosis beträgt. Das wären, wenn berücksichtigt wird, daß die Anzeige H_3 noch einen γ-Anteil enthält, der zunächst subtrahiert werden muß, 0,026 mSv bei Person Nr. 10 der Tabelle 7 und 0,028 mSv bei Person Nr. 9. Wegen der mit der Bestimmung der γ-Dosis verbundenen Meßunsicherheiten braucht in diesem Fall der geringe Beitrag der β-Strahlung zur Testesdosis nicht berücksichtigt zu werden. Die am Oberschenkel mit dem digitalen Dosimeter gemessene γ-Dosis sollte aber der Personendosis gleichgesetzt werden. Letzteres wurde nach Angaben des Kernkraftwerkes auch getan.

3.2 Messungen im Kernkraftwerk Unterweser

Im Kernkraftwerk Unterweser wurden während der Revision im August 1988 bei Einstiegen in zwei Dampferzeuger die Personendosis durch ß- und γ-Strahlung gemessen. Bei dem ersten Dampferzeugereinstieg wurden zusätzlich Dosisleistungsmessungen durchgeführt.

3.2.1 Dosisleistungs- und Abschirmungsmessungen

Im Dampferzeuger YB 30 wurde an der heißen Seite (Eintrittsseite) an zwei Stellen die Dosisleistung gemessen, etwa 10 cm unterhalb des Rohrbodens und am äußeren Rand des Mannlochs etwa in der Mitte der Öffnung. An diesen Punkten wurden ebenfalls Abschirmungsmessungen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 8 und Abb. 5 dargestellt.

An den zwei Meßpunkten sind die Strahlenfelder merklich verschieden. Die Dosisleistung im Innern des Dampferzeugers in der Nähe des Rohrbodens ist größer als am Mannloch. Das Verhältnis $\dot{H}_\beta:\dot{H}_\gamma$ der ß-Dosisleistung zur γ-Dosisleistung dagegen ist am Mannloch erheblich größer als im Innern des Dampferzeugers. Aus den Absorptionskurven in Abb. 5 folgt weiter, daß die ß-Strahlung am Mannloch durch einen Absorber bestimmter Dicke mehr geschwächt wird als die ß-Strahlung im Dampferzeuger. Das heißt, die Energie der ß-Strahlen am Mannloch ist kleiner als die Energie der ß-Strahlen im Dampferzeuger. Die Absorptionskurve für die ß-Strahlung im Dampferzeuger wird mit zunehmender Dicke des Absorbers flacher. Das liegt daran, daß die im Strahlenfeld vorhandenen ß-Strahlen kleiner Energie erheblich leichter absorbiert werden als die ß-Strahlen großer Energie. Durch den Absorber nimmt die mittlere Energie der ß-Strahlen zunächst zu, die Strahlung wird härter.

Aus den Kurven der Abb. 5 kann der Anteil der ß-Dosisleistung, der unter der Schutzkleidung noch vorhanden ist, abgeschätzt werden. So wäre zum Beispiel am Rohrboden unter einer Schutzkleidung mit der flächenbezogenen Masse von 80 $mg.cm^{-2}$ *) das Verhältnis $\dot{H}_\beta:\dot{H}_\gamma$ der ß-Dosisleistung zur γ-Dosisleistung gleich 0,79. Am Mannloch unter 30 $mg.cm^{-2}$ **) wäre der Wert dieses Verhältnisses gleich 3,28.

---

*) Diese flächenbezogene Masse entspricht der an den Händen getragenen Schutzkleidung: Gummihandschuhe, Kunststoff-Schutzanzug und Stoffhandschuhe

**) 30 $mg\ cm^{-2}$ entspricht dem Wert der flächenbezogenen Masse von Kunststoffschutzanzug und Overall

3.2.2 Messungen von Personendosen

Bei den Dampferzeugereinstiegen wurden die Personen mit mehreren Dreifach-TLD an verschiedenen Körperteilen bestückt. An der Brust wurde ein digitales γ-Dosimeter und an Kopf, Oberschenkeln und Unterarmen wurden zusätzlich Stabdosimeter getragen. Die Ergebnisse der Dosismessung beim ersten Dampferzeugereinstieg sind in den Tabellen 9 und 10 zusammengestellt.

3.2.3 Abschätzung des Dosisanteiles von ß-Strahlung

Die Dosimeteranzeigen der drei Personen sind in etwa proportional der Einsatzzeit im Dampferzeuger.

Betrachtet man nur die Anzeige H_1 des ersten Detektors, so werden die höchsten Dosen am Kopf oder am Unterschenkel gemessen und die kleinsten Dosen an der Brust und am Oberschenkel.

Die Verhältnisse $H_1:H_3$ der Anzeige des ersten Detektors zur Anzeige des dritten Detektors sind - abgesehen von einem Wert - alle größer als eins. Das ist ein Beweis, daß ß-Strahlung mit zur Dosisbelastung beiträgt.

Das Verhältnis $H_1:H_3$ hängt von der Dicke der Schutzkleidung über dem Dosimeter ab. Dieses Verhältnis ist bei allen Handdosimetern praktisch gleich. $H_1:H_3$ ist für die Handdosimeter gleich 1,2 bis 1,3. Für die an der Brust getragenen Dreifach-TLD schwanken die Meßwerte für das Verhältnis $H_1:H_3$ etwas mehr als bei den Handdosimetern. Die Werte sind aber wie bei den Handdosimetern relativ klein*). Bei den an Kopf, Schenkeln und Unterarm getragenen Dreifach-TLD ist das Verhältnis $H_1:H_3$ deutlich größer als bei den an der Hand oder an der Brust getragenen Dosimetern. Die Werte $H_1:H_3$ der am Kopf und an den Schenkeln getragenen Dosimeter sind bei Person 1 etwas geringer als bei den Personen 2 und 3.

---

*) Ob der größere Wert von $H_1:H_3$ = 1,5 bei dem an der Brust getragenen Dosimeter der Person 1 auf Meßunsicherheiten beruht, oder ob in diesem Fall die Dosimeterabdeckung geringer war, da ein Overall ohne Sichtfenster aus Kunststoff getragen wurde, kann nicht mehr entschieden werden.

Die Anzeige H_1 des ersten Detektors des Dreifach-TLD gibt den Wert der Hautdosis am Ort des Detektors an. Da H_1 nicht wesentlich größer als H_2 und H_3 ist, ist nach Tabelle 1 zur Bestimmung der Hautdosis aus H_1 keine Korrektion erforderlich. Da die Dreifach-TLD aus praktischen Gründen nicht auf der Haut, sondern auf Overall, Strumpf oder Stoffhandschuh angebracht worden waren, ist die Anzeige H_1 etwas größer als die Hautdosis. Für die Strahlung des Dampferzeugers ist der Wert der Hautdosis bis zu 10% geringer als der Wert von H_1. Nur die Hautdosis in Höhe der Brust ist etwas größer als die Anzeige H_1 des an der Brust getragenen Dosimeters, da das Dreifach-TLD an der Brust zusätzlich von dem Sichtfenster der Dosimetertasche abgedeckt wurde.

Die Anzeige H_3 des dritten Detektors des Dreifach-TLD ist zu einem wesentlichen Teil durch γ-Strahlung erzeugt. Die Anzeigen dieses Detektors sind in Tabelle 10 mit den Anzeigen der am gleichen Ort getragenen, direkt ablesbaren Personendosimeter verglichen. Die Werte von H_3 sind nur in einigen Fällen etwas größer als die Anzeigen der an der gleichen Stelle getragenen Stabdosimeter. Die Anzeigen beider Detektortypen stimmen überraschend gut überein. Die Anzeigen der digitalen, elektronischen Dosimeter sind dagegen bis zu etwa 30 % kleiner als die Werte von H_3.
Für einen genauen Vergleich der Anzeigen der Dosimeter verschiedenen Typs muß das unterschiedliche Ansprechvermögen der Dosimeter für ß-Strahlung berücksichtigt werden:

a) Für Thermolumineszenzdosimeter aus LiF ist das Ansprechvermögen für ß- und γ-Strahlung gleich, wenn das Ansprechvermögen nicht auf die Dosis in Luft am Ort des Dosimeters, sondern auf die vom Detektor absorbierte und über das Volumen des Detektors gemittelte Dosis bezogen wird.
   Diese hängt von der Dicke des Detektors und von den Absorbern vor dem Detektor ab. Für die vorliegenden Messungen kann das Verhältnis der Dosis durch ß-Strahlung zur Dosis durch γ-Strahlung im dritten Detektor des Dreifach-TLD aus den in Abbildung 5 dargestellten Dosisleistungsmessungen abgeschätzt werden.
   Der dritte Detektor des Dreifach-TLD ist gegen die ß-Strahlung durch den Kunststoff-Schutzanzug und die beiden ersten Detektoren abgeschirmt. Bezieht man die Anzeige auf die Mitte des dritten Detektors, dann erhält man eine zusätzliche Abdeckung, die der halben Dicke des dritten Detektors entspricht. Die gesamte

Detektorabdeckung entspricht dann einer flächenbezogenen Masse von 185 $mgcm^{-2}$. Dies ist praktisch gleich dem Wert der flächenbezogenen Masse der 1,5 mm dicken Plexiglaskappe für das Dosimeter DL 1. Aus den entsprechenden Dosisleistungsmessungen folgt dann direkt (Abb. 5), daß für das Strahlenfeld im Dampferzeuger durch β-Strahlung 1/3 und durch γ-Strahlung 2/3 der Anzeige des dritten Detektors hervorgerufen wird. Im Strahlenfeld des Mannloches wurde von der Anzeige des dritten Detektors 42 % durch β-Strahlung und 58 % durch γ-Strahlung erzeugt.

Diese Abschätzung gilt für die am Kopf, an den Schenkeln und am Unterarm getragenen Dreifach-TLD. Nur diese werden bei der weiter unten durchgeführten Ermittlung des Verhältnisses der β-Dosis zur γ-Dosis berücksichtigt. Bei den an den Händen und an der Brust getragenen Dreifach-TLD ist die Dicke der Schutzkleidung über den Dosimetern größer als bei den Dosimetern an Kopf, Schenkeln und Unterarm. Deswegen ist an den Händen und an der Brust das Verhältnis der β-Dosis zur γ-Dosis kleiner als an den anderen Körperteilen.

b) Für die verwendeten digitalen Dosimeter und für die Stabdosimeter ist das Ansprechvermögen für β-Strahlung nicht bekannt. Es ist aber bekannt, daß Stabdosimeter im Felde von β-Strahlung großer Energie ein nicht zu vernachlässigendes Ansprechvermögen besitzen. Der Detektor des digitalen Personendosimeters ist ein GM-Zähler. Dosimeter mit GM-Zähler besitzen - insbesondere auch wegen des Filters zur Verbesserung der Energieabhängigkeit des Ansprechvermögens für γ-Strahlung - ein sehr geringes Ansprechvermögen für β-Strahlung. Nimmt man an, daß das Ansprechvermögen des digitalen Personendosimeters für β-Strahlung zu vernachlässigen ist und daß ca. 1/3 der Anzeige H_3 des dritten Detektors des Dreifach-TLD durch β-Strahlung erzeugt wurde, dann stimmen die entsprechenden Anzeigen dieser Dosimeter in Tabelle 10 gut überein.

Zur Abschätzung des Verhältnisses $H_\beta:H_\gamma$ der durch β-Strahlung erzeugten Dosis zur durch γ-Strahlung erzeugten Dosis wird angenommen, daß die Anzeige H_3 des dritten Detektors des Dreifach-TLD zu 1/3 durch β-Strahlung und zu 2/3 durch γ-Strahlung hervorgerufen wird *). Aus den Anzeigen H_1 und H_3 folgt dann für die γ-Dosis

$$H_\gamma = 2/3\ H_3$$

und für die β-(Haut)Dosis

$$H_\beta = H_1 - 2/3\ H_3.$$

*) Da bei Arbeiten im Dampferzeuger die Verweilzeit im Dampferzeuger erheblich größer als die Verweilzeit im Mannloch des Dampferzeugers ist, ist der Wert 1/3 eine bessere Abschätzung für den Beitrag der β-Strahlung zur Anzeige H_3 als der Wert 42 %.

Das so berechnete Verhältnis $H_\beta:H_\gamma$ ist für die beim Dampferzeuger-Einstieg getragenen Dreifach-TLD in Tabelle 9 angegeben. Für die am Kopf, an den Schenkeln und am Unterarm getragenen Dosimeter liegen die berechneten Werte von $H_\beta:H_\gamma$ - abgesehen von einem größeren Wert - zwischen 1,1 und 2,3. Für die Dosimeter unter einer dickeren Schutzkleidung an der Hand und an der Brust liegen die Werte von $H_\beta:H_\gamma$ zwischen 0,5 und 1,3.

Bei den Meßwerten H_1, H_2 und H_3 der Tabelle 9 handelt es sich um für diesen Dosimetertyp kleine Dosen. Bei einem Wert der unteren Nachweisgrenze von 1 mSv sind die statistischen Meßunsicherheiten für die Detektoranzeigen relativ groß. Innerhalb der Fehlergrenzen müssen die Werte von $H_\beta:H_\gamma$ für die am Kopf, an den Schenkeln und am Unterarm getragenen Dosimeter als gleich angesehen werden. Für die Dosisbelastung an Kopf, Schenkeln und Unterarm*) folgt dann als Mittelwert des Verhältnisses der β-Dosis zur γ-Dosis

$$H_\beta:H_\gamma = 1{,}8 \pm 0{,}6 \ (\pm 1\ \sigma)$$

Auch für die anderen Stellen der Körperoberfläche, ausgenommen die an Händen, Füßen und am Gesicht, wo die Schutzkleidung dicker ist, kann ein Verhältnis $H_\beta:H_\gamma = 1{,}8$ zugrunde gelegt werden.

An den Stellen mit dickerer Schutzkleidung ist das Verhältnis $H_\beta:H_\gamma < 1{,}8$.

Beim Einstieg in den zweiten Dampferzeuger wurden Dreifach-TLD und Stabdosimeter auch am Rücken getragen. Es wurde festgestellt, daß die Gesamtdosis ($H_\gamma + H_\beta$) am Rücken größer als die an der Brust ist. Die weiteren Ergebnisse beim Einstieg in den zweiten Dampferzeuger entsprechen den hier ausführlich diskutierten Ergebnissen.

---

*) Für die Haut an der Brust gilt derselbe Wert, da nur ein kleiner Teil der Brust durch das Sichtfenster der Dosimetertasche abgeschirmt wurde.

3.2.4 Zusammenfassung der Ergebnisse bei Arbeiten im Dampferzeuger des Kernkraftwerks Unterweser

1. Bei den Arbeiten im Dampferzeuger des Kernkraftwerks Unterweser ist mit einer Hautdosis durch ß-Strahlung zu rechnen. Die Dosisbelastung der Haut durch ß-Strahlung ist um den Faktor 1,8 größer als die durch γ-Strahlung. An Händen, Füßen und Gesicht ist der Anteil der ß-Strahlung geringer, da an diesen Körperteilen eine dickere Schutzkleidung als am Rumpf getragen wird.

2. Die Gesamtdosis an der Brust ist kleiner als die an Kopf, Rücken, Händen oder Unterschenkeln. Dies ist bei der Personendosisüberwachung zu berücksichtigen.

3. Es sollte bei Arbeiten im Dampferzeuger ein Dosimeter getragen werden, mit dem die von ß-Strahlung großer oder mittlerer Energie erzeugte Hautdosis gemessen werden kann. Das Dosimeter braucht ß-Strahlung kleiner Energie nicht zu messen, da diese von der Schutzkleidung absorbiert wird. Zur Messung der ß-Strahlung sollte das Dosimeter nicht in einer Dosimetertasche getragen werden, die ein dickeres Sichtfenster aus Kunststoff besitzt.

4. Die Dosis der Augenlinsen wurde nicht abgeschätzt. Die Augen sind durch das Sichtglas der Atemschutzmaske besser gegen ß-Strahlung geschützt als andere Körperteile. Außerdem folgt aus Abbildung 5, daß in einer Gewebetiefe von 3 mm entsprechend der Lage der Augenlinse die Dosisleistung durch ß-Strahlung erheblich kleiner als die Dosisleistung durch γ-Strahlung ist.

5. Die Dosisbelastung der Gonaden wurde nicht abgeschätzt, da dieser Bereich des Körpers einer geringeren Dosisbelastung unterliegt und da die Gonaden von einer dickeren Gewebeschicht umgeben sind (effektive Tiefe 2 bis 32 mm je nach Energie der ß-Strahlung).

6. Die in diesem Bericht abgeschätzten Werte der Hautdosisbelastung durch ß-Strahlung bei Arbeiten im Dampferzeuger hängen von dem Nuklidspektrum der Kontamination im Dampferzeuger ab. Die Abschätzung braucht nicht für Arbeiten in anderen Dampferzeugern zu gelten.

Danksagung

Die Verfasser danken den Herren Fielenbach, Firma R. Krahn, Jülich, und Gross, Kernkraftwerk Krümmel, für die Durchführung zahlreicher Messungen sowie Herrn Scheer, Kernkraftwerk Unterweser, für die bereitwillige Unterstützung des Meßprogramms.

4. Literatur

(1) M. Heinzelmann, M. Keller
An energy-independent dose rate meter for β- und γ-radiation
Radiation Protection Dosimetry 14, 179 (1986)

(2) M. Heinzelmann, H. Schüren, M. Keller
Dosemeter for determining skin dose
Radiation Protection Dosimetry 2, 115 (1982)

(3) Berechnungsgrundlage für die Ermittlung von Körperdosen bei äußerer Strahlenexposition durch Elektronen, insbesondere durch β-Strahlung
Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 3, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York 1986

(4) F. Rohloff, M. Heinzelmann
Absorbed Dose Rate Due to K-Radiation
Radiation Protection Dosimetry 27, 193 (1989)

(5) Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle
GMBl 29, Nr. 22, Ausgabe B, 1978

(6) Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlung (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV)
Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 125, 2905 (1976)

(7) D. Regulla
Beta-Dosimetrie in Kernkraftwerken
Neuherberg, 22.09.1988 (unveröffentlicht)

(8) M. Heinzelmann, G.H. Schnepel, H. Schüren,
Messungen des durch β-Strahlung erzeugten Anteils der Ortsdosisleistung im Kernkraftwerk Krümmel
Teil I: Messung während der Revisionsphase
Januar 1989 (unveröffentlicht)

(9) M. Heinzelmann
Messungen des durch β-Strahlung erzeugten Anteils der Ortsdosisleistung im Kernkraftwerk Krümmel
Teil II: Messung während der Betriebsphase
Januar 1989 (unveröffentlicht)

(10) G. Hallfarth
β-Dosisleistung und β-Dosis durch offene Aktivität bei Tätigkeiten im Kontrollbereich des Kernkraftwerkes Krümmel
KKK Arbeitsbericht TKUS 161, 1988, Rev. a
Geesthacht 1989 (unveröffentlicht)

(11) M. Heinzelmann
Messung des Anteils der β-Strahlung an der Personendosis bei Arbeiten in einem Dampferzeuger
Januar 1989 (unveröffentlicht)

Tabelle 1: Für eine einfache Strahlenfeldanalyse erforderliche Angaben über die Anzeigen der 3 Detektoren des Jülicher Dreifach-TLD in verschiedenen Strahlenfeldern

		$H_1:H_2$	$H_2:H_3$	Hautdosis
γ		1	1	H_1
β	Y-90 2,2 MeV	1	1,3	H_1
	Tl-204 0,77 MeV	2,4	10	H_1
	Pm-147 0,23 MeV	14	-	H_1 x 1,33

Die Werte von $H_1:H_2$ und $H_2:H_3$ in β-γ-Mischstrahlenfeldern hängen ab von den Anteilen der β- und γ-Strahlung.

Tabelle 2: Dosisleistung während der Revisionsphase

Teil a: Messungen bei Begehung durch die Arbeitsgruppe

Meßort/Gegenstand		Abstand cm	$\dot{H}$ mSv.h^{-1}	$\dot{H}_\gamma$ mSv.h^{-1}	Dosimeter
52 m Ebene	Hammerkopf-schraube	2-4	10,0	1,2	Babyline
		10	1,8	1,0	Babyline
		2	40	3	DL 1
		30	1,1	0,95	DL 1
	BE-Greifer	1	4,0	0,8	Babyline
		2	8,0	1,4	DL 1
Werkstatt	Mutter der Hammerkopf-schraube	1	84	5,1	DL 1
		2	54	3,7	DL 1
		10	7,0	1,2	DL 1
		30	0,42	0,15	DL 1
	TE-Pumpen-läufer und -Stopfbuchse	mitten in Buchse	0,1	0,002	Babyline
	Werkstück	1	5,0	0,4	Babyline
Turbinen-ebene	HD-Turbine	1	0,1	0,005	Babyline
	ND-Turbine	1	0,3	0,007	Babyline
	Stator	1	1,2	0,02	Babyline
	ausgebauter Ventilsitz				
	unter Plastikfolie	-	0,7	0,1	Babyline
	nach Entfer-nung der Plastikfolie	1	1,0	-	Babyline
		1	1,5	-	DL 1
Frischdampfleitung		Bei Begehung der Leitung	0,02	0	Babyline
Speisewasserbehälter		Bei Begehung des Behälters	<0,1	-	Babyline

Tabelle 2: Dosisleistung während der Revisionsphase
Teil b: Messungen im Auftrage des Kernkraftwerkes *)

Aufgabe bzw. Gegenstand	$\dot{H}$ $mSv.h^{-1}$	$\dot{H}_\gamma$ $mSv.h^{-1}$	Bemerkungen
Inspektionsarbeiten an einem Regelstabantrieb	250	50	
	2,6	2,0	nach erster Dekontamination
	1,2	0,7	nach zweiter Dekontamination
Brennelementsteuerstabgreifer	27	2,0	oberer Teil des Greifers an elektrischen Kontaktschaltern
	39	4,0	untere Teil des Greifers
Reinigungsarbeiten im Flutraum	-	1 - 2	mittlere Werte
	82	8,5	Maximalwerte an verwinkelten Stellen
Instandhaltungsarbeiten an einer Pumpe des Reaktorwasserreinigungssystems	47	10	
Einbringen von Ausgleichsbohrungen in Abblaserohre in den Kondensationskammern	60	5	an Rohrleitungen maximal
Verriegelungswerkzeug für Hammerkopfschrauben	36	2,8	Werte an verschiedenen Stellen gemessen
	34	5,6	
	14	2,0	
Konzentratsammelbehälter	0,7	0,2	leer, Innenwand
	3,2	0,2	Deckelflansch
Wasserdampfabscheider-Zwischenüberhitzer	0,3	0,03	

*) Messungen in 1 cm Abstand von der Oberfläche mit dem Dosimeter DL 1.

Tabelle 3: Vergleichsmessung mit verschiedenen Dosimetern

Meßort : Mutter der Hammerkopfschraube

Abstand bis zur Dosimetervorderwand : 1 cm bei DL 1, FH-40 und Babyline

Abstand bis zur Dosimetermitte : 2 cm bei Film- und Thermolumineszenzdosimeter

Dosimeter	$\dot{H}$ mSv.h^{-1}	$\dot{H}_\gamma$ mSv.h^{-1}
DI 1	a) 90 b) 100 c) 84	- - 5,1
FH-40	-	5
Babyline 31	20	1
TLD-Dünnschicht	165	-
Film	22,5*)	1,8*)
Dreifach-TLD	a) 86 b) 105 c) 120	4,2**) 5,2**) 5,4**)

*) Harte γ-Strahlung; 20,7 mSv.h^{-1} Betastrahlung

**) Wert berechnet aus der Anzeige des dritten Detektors des Dreifach-TLD

Tabelle 4: Dosisleistung erzeugt durch radioaktive Edelgase auf der 52 m Bühne

Zeit der Messung	$\dot{H}$ $\mu Sv.h^{-1}$	$\dot{H}_{\gamma}$ $\mu Sv.h^{-1}$	$\dot{H}_{\beta}$ $\mu Sv.h^{-1}$	C*) $Bq.m^{-3}$	$\dot{H}_{\beta ber}$ **) $\mu Sv.h^{-1}$
15.4.88, 11,00 Uhr	45	38	7	$4,25.10^{4}$	0,6
15.4.88, 18.30 Uhr	11	7,5	3,5	$5,65.10^{4}$	0,8

*) Edelgaskonzentration nach Angaben des Kernkraftwerks

**) $\dot{H}_{\beta ber}$ = Berechnete ß-Dosisleistung für eine Zusammensetzung der Edelgase entsprechend Xe-133 : Xe-133m : Xe-135 = 12 : 0,4 : 1
Dieses Verhältnis der Edelgasisotope (kein Kr-85) gilt für die Raumluft am 12. April 1988

Tabelle 5: Dosisleistung während der Betriebsphase

Meßort / Gegenstand		Abstand cm	$\dot{H}$ mSv.h^{-1}	$\dot{H}_\gamma$ mSv.h^{-1}	Dosimeter
Werkstatt	Bohrmaschine	2 2	0,01 1,0	0*) 0,01	Babyline DL 1
	Schraubstock	2 2 kontakt	0,02 0,015 1,0	0*) 0*) 0*)	Babyline Babyline DL 1
	Werkzeugkiste	1	0,05	0*)	Babyline
	Mutter der Hammerkopfschraube **)	1 2	15 52	1 2,8	Babyline DL 1
52m Bühne	Inspektionswerkzeug für Brennelemente	mitten in Öffnung	10 10,2	3 4,5	Babyline DL 1
	BE-Greifer, mittig	2 2	2 8	0,5 -*)	Babyline DL 1
52m Bühne Flutbecken	Bodenbereich allgemein	80 ≈ 100	0,15 0,1	-*) 0,1	Babyline DL 1
	Führungsblech am Boden	2 2 2	10 (minimal) 25 (maximal) 8	0,7 2 0,6	Babyline Babyline DL 1
	An Schleuse zum Brennelementlagerbecken 1m Abstand von Tor 2m über Boden	2	100	10	Babyline
	seitlich in einem Haken	2	70	6	DL 1
52m Bühne Dekontaminationsraum	kleinflächige Kontamination am Fußboden	2 2	1,6 1	0,6 0,1	Babyline DL 1
Dekontaminationsbereich	Haube mit Schläuchen	≈ 50	0,5	0,1	Babyline
	Unter Wannen über Gitterrosten	-	0,25	0,2	Babyline
	Syphon im radiochemischen Labor	-	0,12	0,12	Babyline
Faßabfüllstation	in Faßöffnung	20 - 30 20	0,26 7	0,16 5,4	Babyline DL 1
	Infratrockner	2	2	1,2	DL 1

*) "0" = Dosisleistung mit Meßgerät nicht festgestellt, d.h. beim DL 1 kleiner etwa 0,05 mSv.h^{-1}, beim Babyline kleiner etwa 0,5 µSv.h^{-1}.

"-" = nicht gemessen

**) Für diese Messung, durchgeführt zur Ergänzung der Untersuchungen während der Revisionsphase, wurde die Probe in die Werkstatt transportiert.

Tabelle 6: Vergleich der Nuklidspektren zweier Wischproben

Wischprobe 1 vom 16.04.1988 an der Hammerkopfschraube
Wischprobe 2 vom 13.06.1988 an der Mutter der Hammerkopfschraube

Nuklid	$T_{1/2}$	Anteil %		Bemerkungen
		1	2	
Cr-51	27,8 d	7,6	-	K-Einfang
Mn-54	314 d	7,3	7,5	K-Einfang
Co-58	71 d	10,9	-	87% K-Einfang
Co-60	5,27 a	57,7	89,4	E_β=0,31 MeV
Zn-65	245 d	15,9	3,1	98% K-Einfang
Tc-99m	6 h	0,07	-	γ-Strahler
Ag-110m	253 d	0,44	-	E_β=0,53 MeV

Tabelle 7: Ergebnisse der Personendosisüberwachung mit Teilkörperdosimetern (Dreifach-TLD) und digitalen γ-Dosimetern

Tätigkeit	Nr.	Dosimeter-tragеort	Dosimeter-triesteile 1)	H_γ 2) mSv	H_1 3) mSv	H_2 3) mSv	H_3 3) mSv	$H_1:H_3$ Brust	$H_1:H_3$ Hand	$H_1:H_3$ sonst.	$H_1:H_\gamma$	Bemerkungen
Inspektions-arbeiten an einem Regel-stabantrieb	1	Brust	D	4,4	4,4	3,6	3,8	1,2	-	-	1,0	
		r. Hand	D	-	10,0	7,5	8,0	-	1,3	-	2,3	
		r. Hand	J	-	6,5	6,5	6,0	-	1,1	-	1,5	
	2	Brust	D	3,0	2,4	2,2	2,4	1,0	-	-	0,8	
		r. Hand	D	-	4,4	4,6	3,6	-	1,2	-	1,5	
	3	Brust	D	0,3	1,0	1,0	1,0	1,0	-	-	3,3	Dekontamina-tionsarbeiten
		r. Hand	D	-	4,6	3,6	4,4	-	1,1	-	15,3	
	4	Brust	D	0,2	0,0 4)	0,0 4)	0,0 4)	-	-	-	-	Dekontamina-tionsarbeiten
		r. Hand	D	-	1,0	1,0	1,2	-	1,0	-	5	
Arbeiten an den Hammer-kopfschrau-ben	5	Brust	D	1,1	3,0	1,6	1,6	1,9	-	-	2,7	
		l. Hand	D	-	2,4	2,4	2,2	-	1,1	-	2,2	
	6	Brust	D	1,1	2,2	1,4	1,6	1,4	-	-	2,0	
		l. Hand	D	-	5,5	4,4	4,6	-	1,2	-	5,0	
	7	Brust	D	0,7	1,8	1,0	1,0	1,8	-	-	2,6	
		l. Hand	D	-	1,6	1,6	1,4	-	1,1	-	2,3	
Reinigungs-arbeiten im Flutraum	8	Oberschenkel	J	0,17 5)	2,8	1,4	1,5	-	-	1,9	16	Gruppe A Einsatzzeit 12 min.
	9	Oberschenkel	D	0,20 5)	2,4	1,6	1,6	-	-	1,5	12	
	10	Oberschenkel	J	0,68 5)	1,9	1,8	2,0	-	-	1,0	2,8	Gruppe B Einsatzzeit 25 min.
	11	Oberschenkel	D	0,83 5)	2,4	1,2	1,2	-	-	2,0	2,9	
Arbeiten an der Pumpe des Reaktor-wasserreini-gungssystems	12	Brust	D	0,9	-	1,0	1,0	-	-	-	-	
		r. Hand	D	-	2,4	1,6	1,8	-	1,3	-	2,7	
		r. Hand	J	-	3,3	2,2	2,2	-	1,5	-	3,7	
	13	Brust	D	0,8	0,0 4)	0,0 4)	0,0 4)	-	-	-	-	
		r. Hand	D	-	1,4	1,0	1,0	-	1,4	-	1,8	
		r. Hand	J	-	1,0	0,8 4)	0,7 4)	-	1,4	-	1,3	
Einbringen von Aus-gleichsboh-rungen in Abblaserohre in der Kon-densations-kammer	14	Brust	D	4,52	4,4	4,2	4,0	1,1	-	-	1,0	
		r. Hand	D	-	10,0	13	13	-	0,8	-	2,2	
		r. Hand	J	-	9,1	8,5	8,2	-	1,1	-	2,0	
	15	Brust	D	2,86	-	-	-	-	-	-	-	
		r. Hand	D	-	13	16	15	-	0,9	-	4,6	
	16	Brust	D	2,59	3,0	3,0	3,0	1,0	-	-	1,2	
		r. Hand	D	-	4,6	5,0	4,8	-	-	-	1,8	
		r. Hand	J	-	5,8	5,9	6,3	-	-	-	2,2	

1) Auswertestelle der Thermolumineszenzdosimeter; D = MPA-Dortmund, J = KFA-Jülich

2) H_γ = Anzeige des digitalen Dosimeters

3) H_1, H_2, H_3 = Anzeigen der 3 einzelnen Detektoren des Dreifach-TLD

4) Nachweisgrenze 1 mSv

5) Digitales Dosimeter am Oberschenkel getragen

Tabelle 8: Dosisleistung im Dampferzeuger YB 30

Meßort	$\dot{H}$ *) $mSv.h^{-1}$	$\dot{H}_\gamma$ *) $mSv.h^{-1}$	$\dot{H}_\gamma$ **) $mSv.h^{-1}$
Am äußeren Rand des Mannloches in Mitte der Öffnung	400	58	60
Im Dampferzeuger ca. 10 cm unter dem Rohrboden	680	240	300

*) $\dot{H}$ = β+γ-Dosisleistung gemessen mit dem Dosimeter DL 1 ohne Kappe
$\dot{H}_\gamma$ = γ-Dosisleistung gemessen mit dem Dosimeter DL 1 mit Kappe

**) $\dot{H}_\gamma$ = γ-Dosisleistung gemessen mit einem Dosimeter des Typs Teletector, Automess, Ladenburg.

Tabelle 9: Anzeigen aller Detektoren der Dreifach-TLD, Anzeigenverhältnis $H_1:H_3$ und aus der Strahlenfeldanalyse abgeschätzte Werte des Verhältnisses $H_\beta:H_\gamma$ der β-Dosis zur γ-Dosis

Person	Einsatz-zeit	Dosimeter-Trageort	H_1 mSv	H_2 mSv	H_3 mSv	$H_1 : H_3$ Hand	Brust	sonst	$H_\beta:H_\gamma$
1	69s	rechte Hand	6,7	6,1	5,5	1,2	-	-	o,8
		linke Hand	6,6	5,9	5,2	1,3	-	-	o,9
		Brust	5,4	3,8	3,5	-	1,5	-	1,3
		Kopf	8,3	6,1	4,5	-	-	1,8	1,8
		rechter Ober-schenkel	5,o	3,8	3,2	-	-	1,6	1,4
		linker Ober-schenkel	3,8	2,9	2,7	-	-	1,4	1,1
		rechter Unter-schenkel	6,6	4,7	4,5	-	-	1,5	1,2
2	45s	rechte Hand	5,7	4,4	4,3	1,3	-	-	1,o
		linke Hand	5,6	4,o	4,2	1,3	-	-	1,o
		Brust	2,5	2,3	2,5	-	1,o	-	o,5
		Kopf	5,8	5,1	2,9	-	-	2,o	2,1
		rechter Ober-schenkel	3,7	2,8	2,2	-	-	1,7	1,5
		linker Ober-schenkel	4,8	3,2	2,6	-	-	1,8	1,8
		rechter Unter-schenkel	8,8	3,8	3,o	-	-	2,9	3,4
3	3os	rechte Hand	2,7	2,3	2,2	1,2	-	-	o,8
		linke Hand	2,1	1,8	1,7	1,2	-	-	o,9
		Brust	1,4	1,3	1,2	-	1,2	-	o,8
		Kopf	4,4	3,1	2,3	-	-	1,9	1,9
		rechter Ober-schenkel	2,o	1,6	1,3	-	-	1,5	1,3
		linker Ober-schenkel	2,6	1,4	1,2	-	-	2,2	2,3
		rechter Unter-schenkel	3,2	1,6	1,7	-	-	1,9	1,9
		rechter Unterarm	3,4	3,o	2,1	-	-	1,6	1,4

Tabelle 10: Vergleich der Anzeigen H_3 des dritten Detektors der Dreifach-TLD mit den Anzeigen der am gleichen Ort getragenen, direkt ablesbaren Personendosimeter

Person	Trageort	H_3 mSv	H_{Dig} mSv	H_{Stab} mSv
1	Brust	3,5	2,5	-
	Kopf	4,5	-	4,5
	Oberschenkel	3,2	-	2,7
2	Brust	2,5	1,8	-
	Kopf	2,9	-	2,9
	Oberschenkel	2,2	-	2,1
3	Brust	1,2	1,1	-
	Kopf	2,3	-	2,1
	Oberschenkel	1,3	-	1,2
	Unterarm	2,1	-	1,9

H_3 = Anzeige des dritten Detektors des Dreifach-TLD

H_{Dig} = Anzeige des digitalen, elektronischen Dosimeters

H_{Stab} = Anzeige des Stabdosimeters

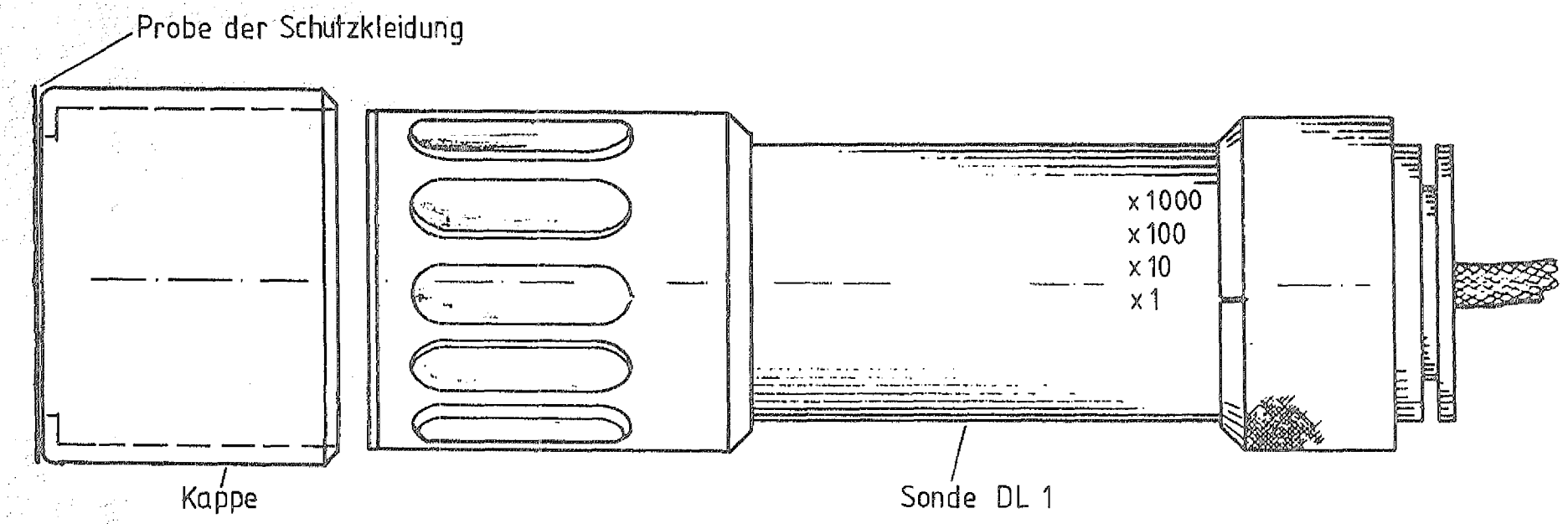


Abbildung 1: Sonde des DL 1 mit Kappe für die Absorptionsmessungen
(Kappe abgenommen)

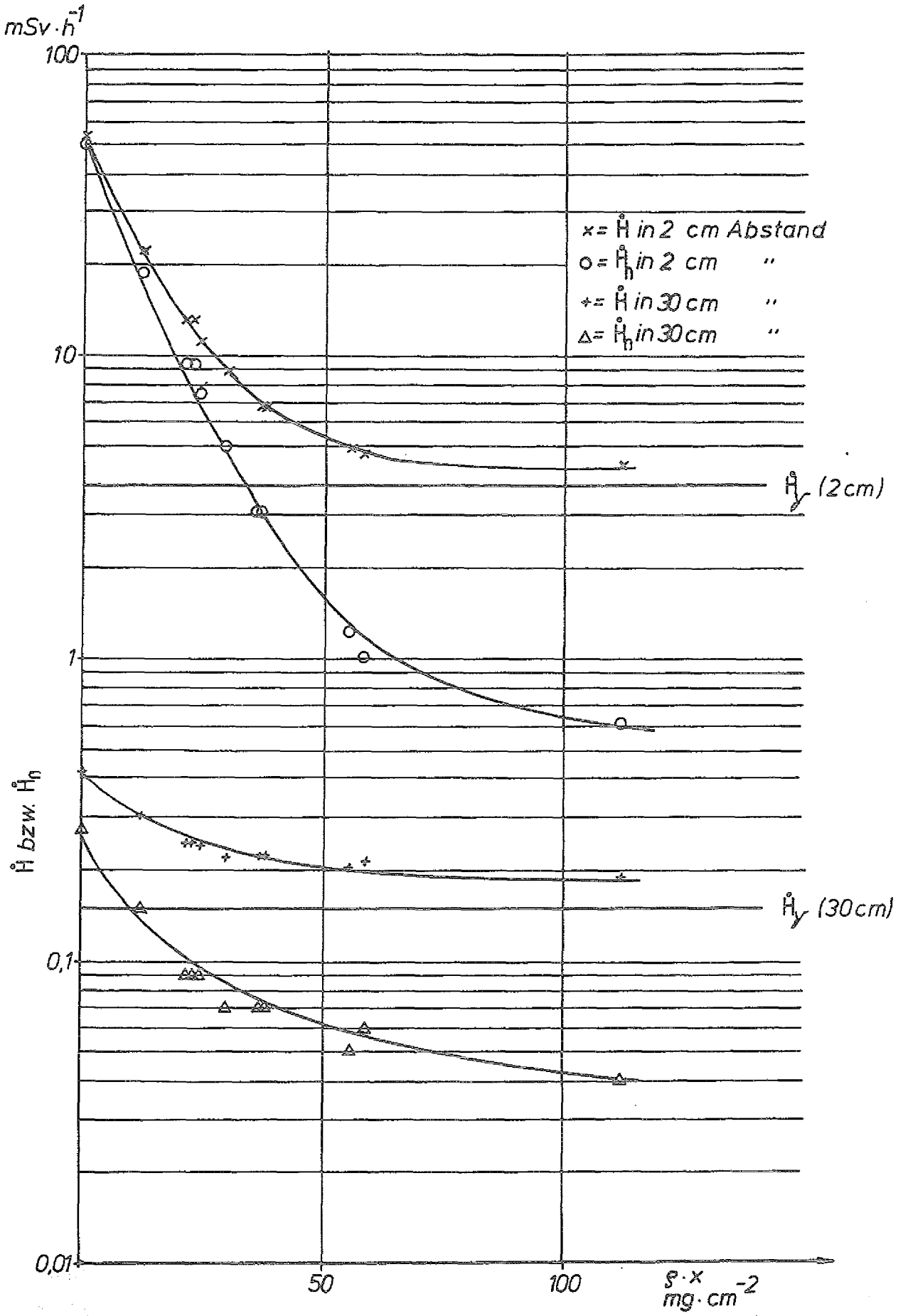


Abb.2: Dosisleistung $\dot{H}$ und Dosisleistung der ß Strahlung $\dot{H}_n = \dot{H} - \dot{H}_\gamma$ als Funktion der flächenbezogenen Masse $\varrho \cdot x$
Meßwerte an der Mutter der Hammerkopfschraube

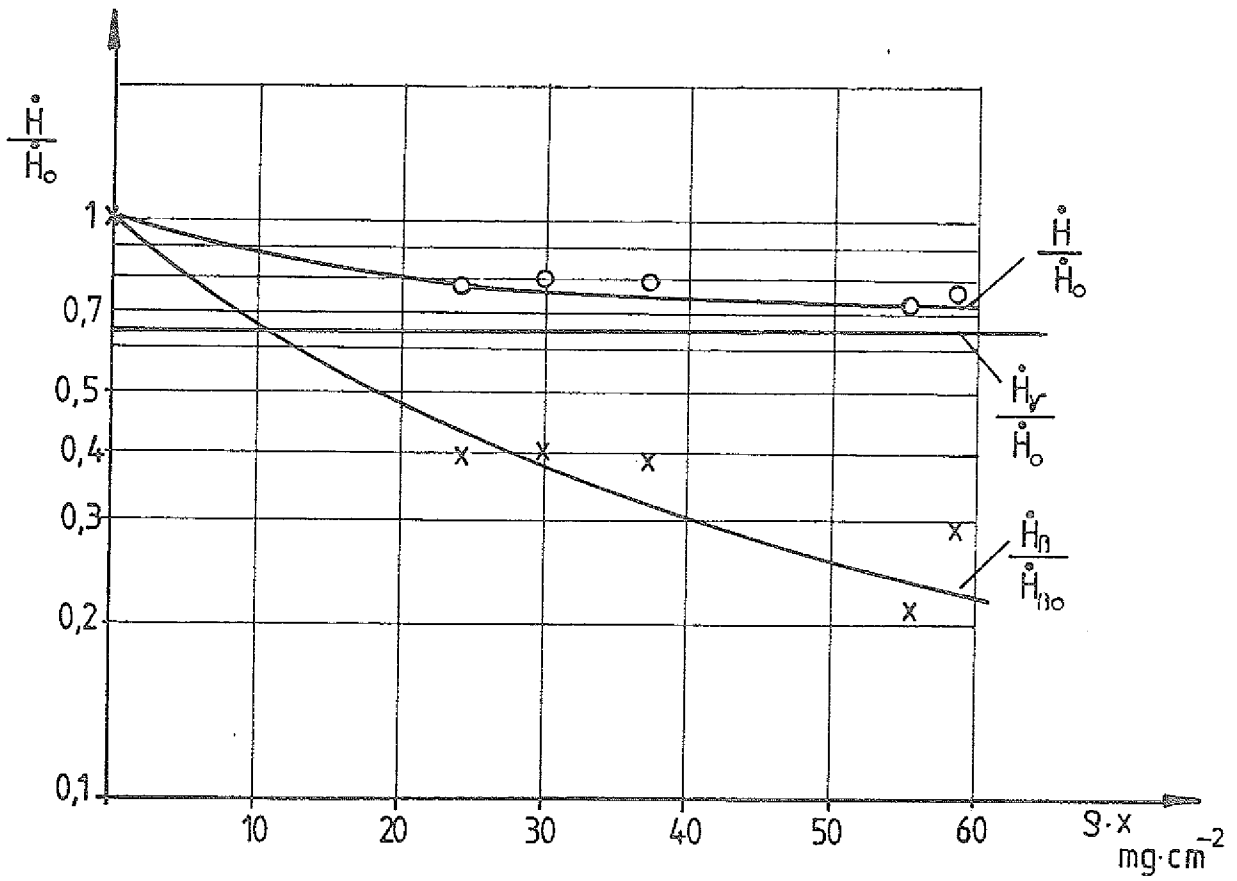


Abb. 3: Dosisleistung $\dot{H}$ als Funktion der flächenbezogenen Masse $\varrho \cdot x$ für die Strahlung an einer Reaktorwasserreinigungspumpe Meßwerte für Abstände von 1,0 bis 12 cm gemittelt und normiert auf 1 für Messung ohne Absorber

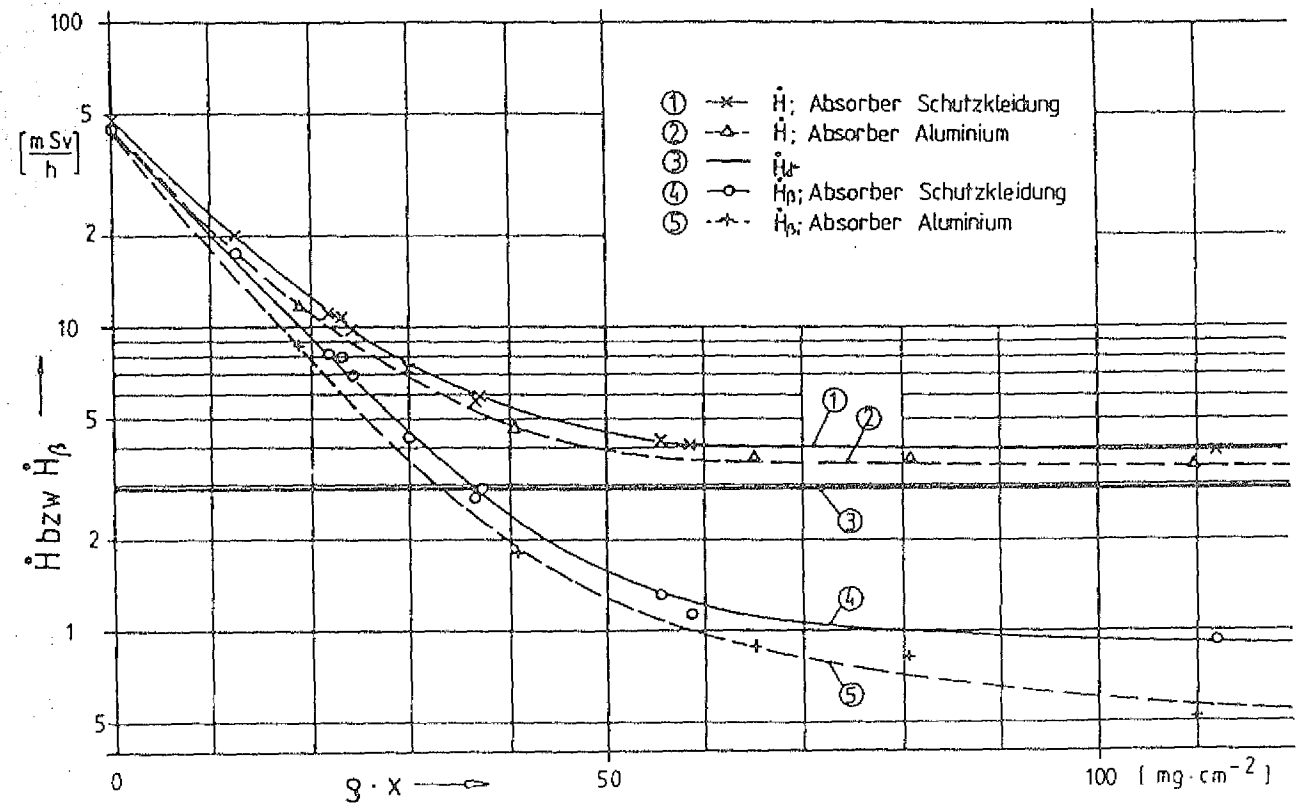


Abb. 4 : Dosisleistung $\dot{H}$ und Dosisleistung durch β-Strahlung $\dot{H}_\beta = \dot{H} - \dot{H}_\gamma$ als Funktion der flächenbezogenen Masse $\varrho \cdot x$;

Messung in 2 cm Abstand vor der Mutter der Hammerkopfschraube bei unterschiedlichen Absorbern.

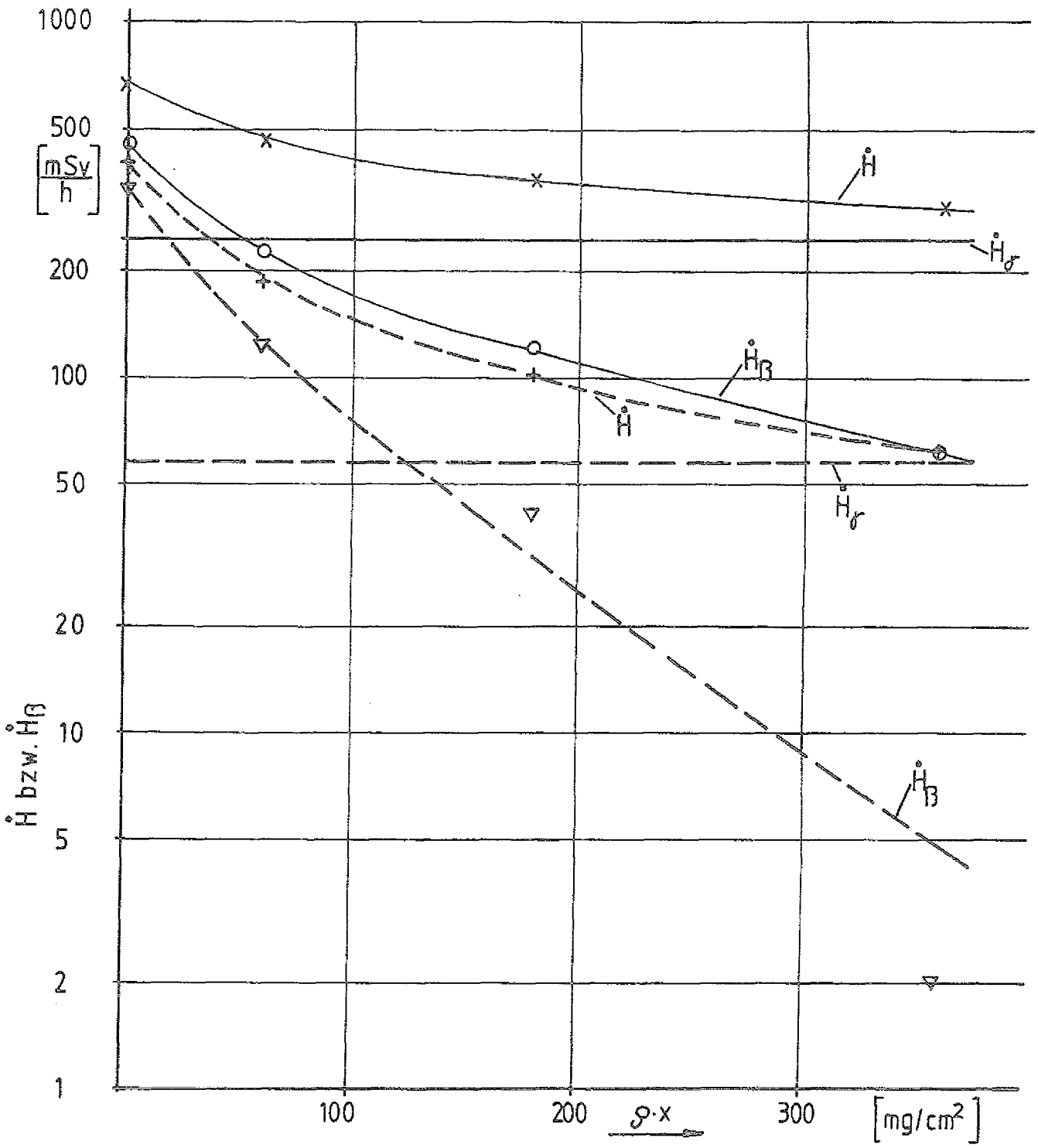


Abb. 5: Dosisleistung $\dot{H}$ und Dosisleistung der β-Strahlung $\dot{H}_\beta = \dot{H} - \dot{H}_\gamma$ als Funktion der flächenbezogenen Masse $\varrho \cdot x$

Messung am Dampferzeuger 30

——— Im Dampferzeuger ca. 10 cm unterhalb des Rohrbodens

– – – Am äußeren Rand des Mannloches etwa in Mitte der Öffnung