



KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH

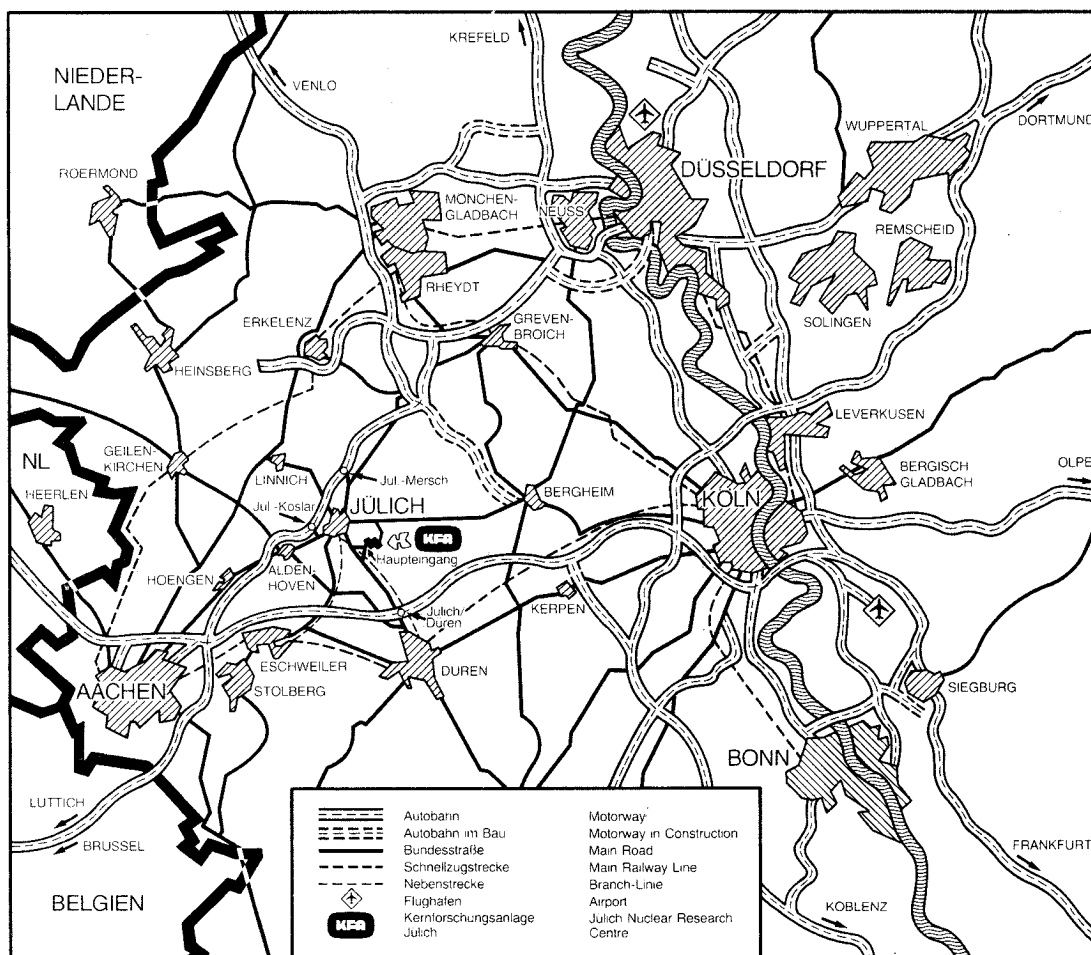
Abteilung Sicherheit und Strahlenschutz

**Beitrag der β -Strahlung zur Dosis
in deutschen Kernkraftwerken**

von

M. Heinzelmann

Jül-2260
Januar 1989
ISSN 0366-0885



Als Manuskript gedruckt

Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 2260
Abteilung Sicherheit und Strahlenschutz Jül-2260

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH
Postfach 1913 · D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)
Telefon: 02461/610 · Telex: 833556-0 kf d

Beitrag der β -Strahlung zur Dosis in deutschen Kernkraftwerken

von

M. Heinzelmann

Inhalt	Seite
1. Einleitung	1
2. Beschreibung der Messungen	2
2.1 Umfang der Messungen	2
2.2 Meßmethode	3
2.2.1 Bestimmung der β -Dosisleistung	3
2.2.2 Messung der Abschirmung durch Schutzkleidung	4
2.2.3 Messung der Teilkörperdosis	4
3. Meßergebnisse und Diskussion	5
3.1 Ergebnisse an einzelnen Komponenten	5
3.1.1 Dampferzeuger	5
3.1.2 Deckel des Reaktordruckbehälters	6
3.1.3 Kondensationskammer	7
3.1.4 Pumpen	7
3.1.5 Leitungen, Ventile	8
3.1.6 Turbinen	9
3.1.7 Sonstige Gegenstände	9
3.2 Kritische Betrachtungen der Messungen	10
3.2.1 Vollständigkeit der Messungen	10
3.2.2 β -Strahlung und K-Strahlung	10
3.2.3 Meßgenauigkeit	11
3.3 Beurteilung der β -Strahlung	11
3.3.1 Abstand zur Strahlenquelle	12
3.3.2 Schutzkleidung	13
3.3.3 Strahlenfelder großer β -Dosisleistung	15
3.3.4 Strahlenfelder geringer β -Dosisleistung	16
3.3.5 Kleinflächige Strahlenquellen	16
4. Augenlinsen und Testes	16
5. Zusammenfassung	18
Literatur	19
Tabellen und Abbildungen	20

1. Einleitung

Die Abteilung Sicherheit und Strahlenschutz (ASS) der Kernforschungsanlage Jülich wurde von der Technischen Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber e.V. beauftragt, in 7 deutschen Kernkraftwerken die β -Dosisleistung und die Abschirmwirkung der Schutzkleidung zu messen. Diese Messungen geben einen Überblick der in den Kernkraftwerken auftretenden β -Strahlenfelder. Die Kenntnis der Strahlenfelder soll den Strahlenschutzbeauftragten als Basis für sachgerechtere Entscheidungen bei Arbeiten in β -Strahlenfeldern dienen und so dazu beitragen, die Strahlenexposition der Beschäftigten weiter zu verringern.

Dieser Bericht faßt die Meßergebnisse der β -Dosisleistung in den 7 Kernkraftwerken zusammen und gibt eine erste Beurteilung.

2. Beschreibung der Messungen

2.1 Umfang der Messungen

Die durch β -Strahlung erzeugte Ortsdosisleistung - hier kurz als β -Dosisleistung bezeichnet - wurde in sieben Kernkraftwerken gemessen (Tab. 1). Für einen repräsentativen Überblick der β -Dosisleistung in deutschen Kernkraftwerken wurden sowohl Siedewasser- als auch Druckwasserreaktoren und ältere und neuere Anlagen ausgewählt. Die jeweils eintägige Messung in den Kraftwerken wurde so geplant, daß Komponenten zugänglich waren, an denen sehr große Werte der β -Dosisleistung (Dampferzeuger, Hauptkühlmittelpumpen) vermutet wurden. Ergänzend zu den Messungen an diesen Komponenten wurde bei einer Begehung des Kraftwerkes nach weiteren Stellen mit größeren Werten der β -Dosisleistung gesucht. Eine Zusammenstellung der an den verschiedenen Reaktorkomponenten und anderen Gegenständen durchgeführten Dosisleistungsmessungen gibt Tabelle 2. An großflächig kontaminierten Komponenten, wie Dampferzeuger, RDB-Deckel oder in der Kondensationskammer, wurde im allgemeinen an mehreren repräsentativen Punkten gemessen. Nicht aufgenommen in Tabelle 2 sind Messungen, bei denen keine erhöhten Werte der Dosisleistung festgestellt wurden oder wo auf genauere Messungen verzichtet wurde, da diese keine nennenswerte, zusätzliche Information geliefert hätten. So wurden z.B. bei Werkzeugen oder anderen im Wasserbecken benutzten Gegenständen nach Messung der Dosisleistung an ein oder zwei Werkzeugen keine genaueren Messungen mehr durchgeführt, es sei denn, bei Kontrollmessungen waren höhere Werte der Dosisleistung festgestellt worden, es lag eine Kontamination mit anderen Nukliden vor oder es handelte sich um einen Gegenstand mit anderer Struktur, z.B. ein Seil. In einem Lagerraum mit Plastiksäcken, die radioaktive Abfälle enthielten, wurde nur der Plastiksack genauer gemessen, an dem bei Kontrollmessungen der höchste Wert der Dosisleistung festgestellt worden war.

Die β -Dosisleistung wurde an den verschiedenen Gegenständen nahe der Oberfläche in etwa 2 cm Abstand und bei höheren Dosisleistungen auch in größerem Abstand gemessen. Als größerer Abstand wurde im allgemeinen 30 cm oder die Entfernung bis zur Mitte eines Rohres oder einer Öffnung gewählt. In Strahlenfeldern mit größeren Dosisleistungen wurde zusätzlich zur β - und γ -Dosisleistung auch die Abschirmung der Strahlung durch die im Kraftwerk getragene Schutzkleidung gemessen. Ergänzend zur Dosisleistungsmessung wurden im allgemeinen Wisch- oder Kratzproben genommen, und vom Kraftwerk wurde die Nuklidzusammensetzung auf der Wischprobe γ -spektrometrisch bestimmt.

Bei der Demontage des Laufrades einer Hauptkühlmittelpumpe, einer typischen Tätigkeit, bei der eine höhere Dosisleistung durch β -Strahlung nicht ausgeschlossen werden kann, wurden für β -Strahlung besonders geeignete Teilkörperdosimeter zur Personendosisbestimmung eingesetzt.

2.2 Meßmethode

2.2.1 Bestimmung der β -Dosisleistung

An den kontaminierten Komponenten und anderen Gegenständen wurde die gesamte, durch β - und γ -Strahlung erzeugte Dosisleistung $\dot{D}$ und der allein durch γ -Strahlung erzeugte Dosisleistungsanteil $\dot{D}_\gamma$ bestimmt mit einem Dosimeter des Typs DL 1^{*)}. Dieses Dosimeter wurde speziell zur Messung von β -Strahlung entwickelt (1). Der Detektor dieses Dosimeters ist eine vorn und seitlich mit einer Kunststoffolie von 7 mg.cm^{-2} abgedeckte Ionisationskammer mit einem Volumen von 15 cm^3 . Das Dosimeter mißt die β -Dosisleistung bei Nukliden mit β -Maximalenergien von 0,23 bis 2,3 MeV auf $\pm 20\%$ genau. Durch Messung mit diesem Dosimeter wird die durch β - und γ -Strahlung in einer Gewebetiefe von $70 \text{ }\mu\text{m}$ erzeugte Dosisleistung $\dot{D}$ bestimmt.

Die Ionisationskammer kann mit einer sogenannten Tiefendosiskappe abgedeckt werden. Die Wandstärke dieser Kappe hat eine flächenbezogene Masse von 1 g.cm^{-2} . Bei Messung mit Tiefendosiskappe wird die Dosisleistung in einer Gewebetiefe von 1 cm bestimmt. Durch die Tiefendosiskappe wird die β -Strahlung vollständig, die γ -Strahlung dagegen - sieht man von γ -Strahlung kleiner Energie ab - nur unerheblich geschwächt. Bei Messung mit Tiefendosiskappe wird die γ -Dosisleistung $\dot{D}_\gamma$ gemessen. Die Differenz der Anzeigen der Messungen ohne und mit Tiefendosiskappe ist gleich der β -Dosisleistung

$$\dot{D}_\beta = \dot{D} - \dot{D}_\gamma.$$

Für γ -Strahlung großer Energie zeigt das Dosimeter DL 1 um etwa 10 % zu hohe Werte an. Diese Überempfindlichkeit ist bedingt durch Ionisation der Luft im Bereich des Vorverstärkers hinter der eigentlichen Meßkammer. Mit dem Dosimeter DL 1 kann wegen des kleinen Volumens der Ionisationkammer noch nahe an kleinflächigen Kontaminationen die Dosisleistung bestimmt werden. Andererseits ist wegen dieses kleinen Volumens das Dosimeter nur zur Messung relativ großer Werte der Dosisleistung geeignet. Im empfindlichsten Meßbereich entspricht der Vollausschlag des Instrumentes einer Dosisleistung von $1,1 \text{ mSv.h}^{-1}$.

^{*)} Hersteller: Reaktorwartungsdienst und Apparatebau, Jülich

2.2.2 Messung der Abschirmung durch Schutzkleidung

Zur Messung der Abschirmung durch Schutzkleidung wurde die Sonde des Dosimeters DL 1 an der Vorderseite mit der zu untersuchenden Schutzkleidung abgedeckt. Proben der Schutzkleidung wurden dann auf speziellen Kappen, Messing-Hohlzylindern, befestigt (Abb. 1). In den einzelnen Kraftwerken wurde jeweils die dort getragene Schutzkleidung bei den Abschirmmessungen verwendet. Gemessen wurde sowohl mit Proben von einzelnen als auch mit Kombinationen von gleichzeitig getragenen Kleidungsstücken (z.B. Gummi- und Stoffhandschuh; Kunststoff-Schutzanzug, Overall und Unterwäsche). Zusätzlich zu 9 Kappen mit Proben von verschiedenen Schutzkleidungen wurde eine Kappe mit 1 mm Plexiglas, einer etwas dickeren Vorderseite, verwendet. Da der Messingzylinder der Kappen die seitlich auf die Sonde des DL 1 auftreffende β -Strahlung stark schwächt, wurden die Abschirmmessungen bezogen auf eine Messung mit einer vorn offenen Kappe.

Die beschriebenen Kappen sind geeignet für Messungen bei Strahleneinfall bevorzugt aus einer Richtung. Für Messungen in Strahlenfeldern mit allseitigem Strahleneinfall auf die Sonde des Dosimeters, z.B. im Dampferzeuger oder in Rohrleitungen, wurden andere Kappen bei den Abschirmuntersuchungen verwendet. In diesem Fall wurde mit drei Plexiglaskappen mit allseitig gleicher Wandstärke gemessen. Die Wandstärke betrug 0,5 mm (ca. 60 mg.cm^{-2}), 1,5 mm (ca. 180 mg.cm^{-2}) und 3 mm (ca. 360 mg.cm^{-2}).

2.2.3 Messung der Teilkörperdosis

Bei der Demontage des Laufrades einer Hauptkühlmittelpumpe im Kernkraftwerk Obrigheim wurden Thermolumineszenzdosimeter zur Bestimmung der Teilkörperdosis eingesetzt. Je eines dieser Dosimeter trug der Monteur unter der Schutzkleidung am Ringfinger der linken und rechten Hand und am Kopf. Zusätzlich wurde an der Brust ein direkt ablesbares γ -Dosimeter getragen.

Die verwendeten Thermolumineszenzdosimeter (2) bestimmen die von β - und γ -Strahlung erzeugte Hautdosis näherungsweise energieunabhängig und, da jedes Dosimeter 3 Detektoren enthält, ermöglichen diese Dosimeter eine grobe Strahlenfeldanalyse. Die 3 Detektoren aus LiF in Teflon sind hinter einer dünnen Folie von 1 mg.cm^{-2} hintereinander angebracht. Der erste, dünne Detektor (0,13 mm dick, 29 mg.cm^{-2} , 12 mm Durchmesser) dient zur Bestimmung der Hautdosis. Die Anzeige D_1 dieses Detektors ist - abgesehen für β -Strahlung kleiner Energie - gleich der Hautdosis. Für β -Strahlung kleiner Energie muß die Anzeige D_1 zur Bestimmung der Hautdosis mit einem Korrektionsfaktor multipliziert werden (Tabelle 3). Der zweite und dritte Detektor des Thermolumines-

dosimeters sind 0,4 mm (90 mg.cm^{-2}) dick. Die Anzeigen D_2 und D_3 des zweiten und dritten Detektors geben die Werte der Dosis in etwas größerer Tiefe an. Das Verhältnis $D_1:D_2$ der Anzeige des ersten zur Anzeige des zweiten Detektors und ebenso das Verhältnis $D_2:D_3$ der Anzeige des zweiten zur Anzeige des dritten Detektors geben eine Aussage über das Strahlenfeld (Tabelle 3). Für γ -Strahlung sind $D_1:D_2$ und $D_2:D_3 \approx 1$. Bei β -Strahlung nimmt das Verhältnis $D_1:D_2$ zu mit abnehmender Energie der β -Strahlung. Die Anzeige D_3 des dritten Detektors wird von β -Strahlung geringer Energie nur sehr wenig beeinflusst. Für β -Strahlung grosser Energie ist das Verhältnis $D_2:D_3 > 1$, so daß mit diesem Dosimeter auch β -Strahlung großer Energie von γ -Strahlung unterschieden werden kann. In β - γ -Mischstrahlenfeldern sind keine genaueren Aussagen über den Beitrag der verschiedenen Strahlenarten zur Dosisbelastung, sondern nur Abschätzungen möglich.

3. Meßergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse an gleichartigen Komponenten in den verschiedenen Kraftwerken werden gemeinsam diskutiert.

3.1 Ergebnisse an einzelnen Komponenten

3.1.1 Dampferzeuger

Die Meßergebnisse an Dampferzeugern sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Am Dampferzeuger in Biblis wurden bei unseren Messungen die größten Werte der β -Dosisleistung gefunden. An der Wasseraustrittsseite des Dampferzeugers ist die Dosisleistung nahezu doppelt so groß wie an der Wassereintrittsseite. Die Dosisleistung wird zum weitaus überwiegenden Teil durch β -Strahlung erzeugt.

In dem neueren Dampferzeuger in Philippsburg ist die Dosisleistung um fast eine Größenordnung kleiner als in dem in Biblis.

Die β -Strahlung beider Dampferzeuger wurde durch Absorber etwa gleich geschwächt. Die Meßergebnisse aus Philippsburg zeigt Abbildung 2. Durch kleine Werte der flächenbezogenen Masse des Absorbers wird die β -Dosisleistung stark verkleinert. Bei größeren Werten der flächenbezogenen Masse wird die Absorptionskurve flacher. Ein solcher Verlauf der Absorptionskurve wird festgestellt bei sowohl niederenergetischer oder weicher als auch hochenergetischer oder harter β -Strahlung im Strahlenfeld. Durch die bei Dampferzeugereinstiegen getragenen Schutzkleidung mit einer flächenbezogenen Masse von ca. 30 mg.cm^{-2*}) wird die β -Strahlung zwar erheblich geschwächt, unter der Schutzkleidung ist die β -Dosisleistung aber noch größer als die γ -Dosisleistung.

*) An einem großen Teil des Körpers ist die Schutzkleidung dicker.

Die Form der Absorptionskurven (Abb. 2) ist so, wie man sie aufgrund der Nuklidzusammensetzung auf den Wischproben von den Dampferzeugern erwartet. Auf den Wischproben wurden hauptsächlich β -Strahler mit kleiner Maximalenergie, insbesondere Co-60, und K-Einfänger nachgewiesen. Sb-124 als β -Strahler mit großer Maximalenergie wurde auf den Wischproben aus Philippsburg mit etwa 3 % und auf denen aus Biblis mit 4 bis 7 % nachgewiesen.

3.1.2 Deckel des Reaktordruckbehälters

Die an Deckeln des Reaktordruckbehälters (RDB-Deckeln) gemessenen Dosisleistungen sind in Tabelle 5 zusammengestellt. Die Messungen in größerem Abstand konnten aus Platzgründen nicht in 30 cm Abstand senkrecht zur Dichtfläche ausgeführt werden. Abgesehen von einem Wert ist an allen anderen Meßpunkten die β -Dosisleistung erheblich größer als die γ -Dosisleistung. Nahe der Oberfläche kann die β -Dosisleistung um mehr als einen Faktor 10 größer als die γ -Dosisleistung sein. In größerem Abstand von der Oberfläche wird das Verhältnis β -Dosisleistung zu γ -Dosisleistung kleiner.

Obwohl die RDB-Deckel großflächig kontaminiert sind, ist die Dosisleistung teilweise stark ortsabhängig. Dies weist auf eine inhomogene Verteilung der Kontamination hin.

Die Dosisleistung an den RDB-Deckeln der Druckwasseranlagen ist um bis zu 2 Größenordnungen größer als an den Siedewasseranlagen. An den Druckwasseranlagen werden besonders an den Dichtflächen große Dosisleistungen gemessen. In Grohnde ging die Strahlung von dem Ort aus, an dem die Dichtung gewesen war. Es handelte sich um eine Linienquelle. In Obrigheim wurden die größten Werte an einer Schraube gemessen. Am Ort der Dichtung nahe dieser Schraube war die Dosisleistung nur halb so groß.

Die β -Strahlung von den RDB-Deckeln der verschiedenen Reaktoren wird durch Absorber ganz unterschiedlich geschwächt. Im allgemeinen ist der überwiegende Teil der Dosisleistung durch weiche β -Strahlung verursacht. In Obrigheim wird die β -Strahlung am Ort der größten Dosisleistung durch einen 1/2 mm dicken Plexiglasabsorber um fast zwei Größenordnungen geschwächt (Abb. 3). Bei den meisten Absorptionskurven ist nur ein kleiner Anteil harter β -Strahlung festzustellen. In Grohnde überwiegt der harte Anteil der β -Strahlung (Abb. 4).

In Tabelle 6 sind die Nuklidzusammensetzungen auf den Wisch- und Kratzproben von den RDB-Deckeln zusammengestellt. Die Werte von den verschiedenen Kraftwerken unterscheiden sich stark. Die 2 Wischproben von verschiedenen Stellen des RDB-Deckels in Obrigheim stimmen gut überein. Die Wischprobe, die in Philippsburg 2 an der versilberten Dichtung genommen wurde, unterscheidet sich wesentlich von der des RDB-Deckels. Der überwiegende Teil der Radio-

nuklide der Wischproben zerfällt durch K-Einfang oder sendet weiche β -Strahlung aus. Der Beitrag von β -Strahlung mittlerer (J-131) und hoher Energie (Sb-124) kann in den Absorptionskurven aus Philippsburg 2 und Gundremmingen festgestellt werden. Auch die harte β -Strahlung, die in Grohnde gemessen wurde, bestätigt die Ergebnisse der Wischproben.

3.1.3 Kondensationskammer

Im Kernkraftwerk Gundremmingen wurden Dosisleistungsmessungen in der Kondensationskammer durchgeführt. Gemessen wurde nur in 2 cm Abstand von den Wänden, da in größeren Entfernungen die Dosisleistung für eine Messung zu klein war. Maximal wurde an einem Rohrboden $0,25 \text{ mSv.h}^{-1}$ gemessen. 80 % davon war β -Dosisleistung. An mehreren Punkten der Kammerwand wurden kleine Dosisleistungen im Bereich zwischen $0,05$ und $0,10 \text{ mSv.h}^{-1}$ gemessen. Bei diesen kleinen Werten war es nicht möglich, den Anteil der γ -Dosisleistung getrennt zu messen.

3.1.4 Pumpen

Die Messungen an Pumpenteilen aus den verschiedenen Kraftwerken sind in Tabelle 7 zusammengestellt. In dieser Tabelle sind auch einige von der Strahlenschutzgruppe des Kernkraftwerks Isar I gemessene Werte mit aufgenommen worden.

Nahe der Oberfläche wird die Dosisleistung hauptsächlich durch β -Strahlung erzeugt. Im Extremfall, an den dekontaminierten Gleitringen einer Hauptkühlmittelpumpe, ist 98 % β -Dosisleistung. In größeren Abständen von den Gegenständen nimmt der Anteil der β -Dosisleistung ab. Wenn in 30 cm Abstand noch 95 % der Dosisleistung durch β -Strahlung erzeugt wird, wie an den Gleitringen, so ist dies ein Zeichen für harte β -Strahlung. Das wird auch durch die Abschirmmessungen (Abb. 5) und die Nuklidzusammensetzung der zugehörigen Wischproben (98 % Sb-124) bestätigt.

Die an den verschiedenen Teilen gemessenen Dosisleistungen sind sehr unterschiedlich. Insbesondere an nicht dekontaminierten Teilen wurden sehr große Dosisleistungen festgestellt, aber auch an einigen dekontaminierten Teilen ist die Dosisleistung sehr groß. An den dekontaminierten Teilen ist die verbleibende Kontamination im allgemeinen sehr ungleichmäßig verteilt. Die großen Werte der Dosisleistung beschränken sich dort vielfach auf sehr kleine Bereiche.

Die β -Strahlung der verschiedenen Pumpenteile wird unterschiedlich durch Schutzkleidung geschwächt. Die β -Strahlung der Gleitringe der Hauptkühlmittelpumpe aus dem Kernkraftwerk Grohnde ist hart (Abb. 5). Die an der Lagerdruckwasserpumpe aus dem Kernkraftwerk Isar dagegen (Abb. 6) ist weich. An den anderen

Pumpenteilen, abgesehen von der Welle der Hauptkühlmittelpumpe des Kernkraftwerks Biblis, wurde neben einem großen Anteil weicher β -Strahlung, die durch Schutzkleidung gut geschwächt wird, ein kleinerer Anteil harter β -Strahlung festgestellt (Abb. 7). Dementsprechend wurde auf den zugehörigen Wischproben bis zu 7 % Sb-124 gefunden.

Die β -Strahlung an der Welle der Hauptkühlmittelpumpe des Kernkraftwerks Biblis ist erheblich härter als an den anderen Teilen derselben Pumpe (Abb. 7, 8). In Übereinstimmung hiermit enthält der Wischtest von der Welle der Hauptkühlmittelpumpe 56 % Sb-124 und 22 % Sb-125 und der vom Laufrad 0,5 % Sb-124 und 3 % Sb-125. Dies Beispiel zeigt, daß die β -Strahlung von verschiedenen Teilen einer Komponente nicht gleich zu sein braucht.

Bei der Demontage des Laufrades einer Hauptkühlmittelpumpe im Kernkraftwerk Obrigheim wurden Thermolumineszenzdosimeter zur Dosisermittlung eingesetzt. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 8. Verglichen mit dem Wert 1 mSv des an der Brust getragenen γ -Dosimeters sind die Dosen an Händen und Kopf deutlich höher. Die drei verschiedenen Detektoren jedes Thermolumineszenzdosimeters zeigen praktisch die gleichen Werte an. Das heißt, daß der Beitrag der β -Strahlung zur Dosisbelastung in diesem Fall sehr gering ist. Bei diesem Ergebnis muß aber berücksichtigt werden, daß gerade im Kernkraftwerk Obrigheim praktisch nur weiche β -Strahlung gemessen wurde, die durch Schutzkleidung gut absorbiert wird.

3.1.5 Leitungen, Ventile

In offenen Leitungen und an Ventilen wurde hauptsächlich in den Siedewasseranlagen gemessen. Die Dosisleistung nahe der Oberfläche war im wesentlichen von β -Strahlung erzeugt. Der größte Wert von 190 mSv.h^{-1} wurde nahe der Oberfläche im offenen Rohr des Nachkühlsystems im Kernkraftwerk Isar I gemessen. Der Anteil der β -Strahlung an der Dosisleistung betrug mehr als 90 %. Es handelte sich dabei um sehr weiche β -Strahlung, die in der Mitte des Rohres durch Luft schon völlig absorbiert worden war. Größere Dosisleistungen wurden auch in dem ausgebauten Rohr einer Frischdampfleitung ($1,5 \text{ mSv.h}^{-1}$) und im äußeren Isoventil ($2,9 \text{ mSv.h}^{-1}$) im Kernkraftwerk Philippsburg 1 gemessen. Der Anteil der β -Strahlung betrug in beiden Fällen mehr als 90 %, und es handelte sich um harte β -Strahlung, die durch Schutzkleidung nur wenig abgeschirmt wurde (Abb. 9). Auf der Wischprobe vom äußeren Isoventil wurde als einziges Radionuklid mit β -Strahlung großer Maximalenergie nur Sb-124 zu 1,4 % gefunden. Die Wischprobe enthält hauptsächlich β -Strahler kleiner Maximalenergie (Co-60) und K-Einfänger (Cr-51). Die Häufigkeitsverteilung der Radionuklide der Wischprobe kann die Absorptionskurve in Abb. 9 nicht erklären. Möglicherweise war die Zusammensetzung der Kontamination an verschiedenen Stellen im Isoventil unterschiedlich, und die Wischprobe wurde nicht an der geeigneten Stelle genommen.

3.1.6 Turbinen

Bei Dosisleistungsmessungen an den Niederdruckturbinen in den Kraftwerken Isar I und Philippsburg I wurden am Läufer und am Gehäuse an wenigen Punkten erhöhte Werte der Dosisleistung festgestellt. Der größte Wert war $0,4 \text{ mSv.h}^{-1}$. Der überwiegende Anteil der Dosisleistung wurde durch weiche β -Strahlung erzeugt. Die festgestellten Kontaminationen befanden sich zwischen den Schaufeln und waren kleinflächig. In Abständen von 20-30 cm waren mit dem verwendeten Dosimeter keine erhöhten Dosisleistungen mehr feststellbar.

3.1.7 Sonstige Gegenstände

Die β -Dosisleistung wurde an einer Anzahl weiterer Gegenstände auf der Reaktorbedienbühne, in der Heißen Werkstatt, in der Dekontamination und im Lager für radioaktive Abfälle gemessen.

Auf der Reaktorbedienbühne wurden an vielen der im Wasserbecken benutzten Werkzeuge und Gegenstände erhöhte Dosisleistungen festgestellt. Der Maximalwert war 16 mSv.h^{-1} in 2 cm Abstand von einem aufgerollten Kabel. In den meisten Fällen waren die Dosisleistungen kleiner als 1 mSv.h^{-1} . Vielfach waren die Stellen erhöhter Dosisleistung kleinflächig. Sie befanden sich häufig an der Spitze des Werkzeuges oder an Öffnungen. Die β -Strahlung konnte bis zu 90 % und mehr der Dosisleistung erzeugen. Nur in 2 Fällen, an einem Unterwasserstaubsauger und an einem Seil, wo die Kontamination sich offenbar nicht auf der äußeren Oberfläche befand, wurde nur γ -Strahlung gemessen. Die erhöhten Dosisleistungen wurden an Werkzeugen festgestellt, die noch nicht dekontaminiert, nur mit Wasser abgespritzt oder auch gründlicher dekontaminiert waren.

In der Heißen Werkstatt und in der Dekontamination wurden zusätzlich zu einigen unter 3.1.4 und 3.1.5 besprochenen Teilen an einigen weiteren Gegenständen erhöhte Dosisleistungen festgestellt. Es handelte sich dabei aber um geringe Werte der Dosisleistung an kleinflächigen Kontaminationen.

Im Abfallager des Kraftwerkes Obrigheim wurde am Rührstab für die Betonieranlage für Konzentrate eine Dosisleistung von $0,2 \text{ mSv.h}^{-1}$ gemessen, zu 50 % erzeugt durch β -Strahlung. Dicht über der Wasseroberfläche eines anderen Abfallfasses wurden $0,22 \text{ mSv.h}^{-1}$ gemessen, zu 20 % erzeugt durch β -Strahlung. Höhere Dosisleistungen wurden an einigen Plastiksäcken mit radioaktiven Abfällen im Kraftwerk Grohnde festgestellt. Die maximale Dosisleistung in 2 cm Abstand betrug 8 mSv.h^{-1} und wurde zu 70 % erzeugt durch β -Strahlung. Es handelte sich dabei um harte β -Strahlung, die durch Schutzkleidung mit einer flächenbezogenen Masse von 30 mg.cm^{-2} nur um etwa 30 % geschwächt wurde. In 30 cm Abstand vom Plastiksack betrug die Dosisleistung noch 1 mSv.h^{-1} .

3.2 Kritische Betrachtung der Messungen

Bevor anhand der Meßergebnisse versucht wird, den Beitrag der β -Strahlung zur Strahlenbelastung der Beschäftigten zu beurteilen, sollen die Messungen diskutiert werden.

3.2.1 Vollständigkeit der Messungen

In den Kraftwerken wurde jeweils nur an einem Tag während der Revision gemessen. Eine eintägige Messung gibt weder eine lückenlose Bestandsaufnahme der Orte mit großen Werten der β -Dosisleistung, noch eine vollständige Übersicht über die Art der Strahlenfelder. Da aber in verschiedenen Kraftwerken zu verschiedenen Zeiten während der Revision gemessen wurde und da diese relativ wenigen Messungen zeigen, wie vielfältig die Strahlenfelder sind, bilden die Meßergebnisse eine gute Grundlage für eine umfassende Beurteilung der β -Strahlung.

3.2.2 β -Strahlung und K-Strahlung

β - und γ -Dosisleistung wurden bestimmt durch Differenzmessung ohne und mit Tiefendosiskappe vor einer dünnwandigen Ionisationskammer. Hierbei wird angenommen, daß β -Strahlung durch die Tiefendosiskappe vollständig und γ -Strahlung vernachlässigbar wenig absorbiert wird. Dies braucht nicht allgemein zu gelten. Für β -Strahlung ist die Annahme sehr gut erfüllt. So ist für die β -Strahlung großer Energie des Y-90 mit einer Maximalenergie von 2,3 MeV die Reichweite in Gewebe 1,08 cm (3). Die Dicke der Tiefendosiskappe entspricht einer Gewebeschicht von 1 cm. Da die β -Dosisleistung durch einen Absorber mit einer Dicke entsprechend 80 % der Reichweite schon auf 2-3 % des Wertes ohne Absorber verringert wird, wird β -Strahlung durch die Tiefendosiskappe praktisch vollständig absorbiert.

γ -Strahlung wird durch die Tiefendosiskappe umso mehr geschwächt, je niederenergetischer diese Strahlung ist. Für γ -Strahlung großer Energie ist die Absorption durch die Tiefendosiskappe vernachlässigbar. Photonenstrahlung sehr kleiner Energie wird aber durch die Tiefendosiskappe praktisch vollständig absorbiert. Bei Photonen mit Energien unter 10 keV beträgt die Absorption mehr als 99 %. Bei unseren Messungen war auf den Wischproben der Anteil der Radionuklide, die völlig (Cr-51; Mn-54) oder zu einem hohen Prozentsatz (Co-58; Zn-65) durch K-Einfang zerfallen, teilweise sehr groß. Im Extremfall bestand die Aktivität einer Wischprobe zu 97 % aus diesen 4 Nukliden. Die K-Strahlung mit Energien unter 10 keV kann dann zur Dosisleistung beitragen. Durch die Tiefendosiskappe wird die K-Strahlung völlig absorbiert. Die Diffe-

renz der Meßwerte ohne und mit Tiefendosiskappe ist, wenn der Anteil der K-Strahlung nicht zu vernachlässigen ist, gleich der Dosisleistung erzeugt durch β -Strahlung und K-Strahlung. Die niederenergetische K-Strahlung der Nuklide Cr-51, Mn-54, Co-58 und Zn-65 verhält sich in vieler Hinsicht wie β -Strahlung: Die K-Strahlung dieser Nuklide wird leicht absorbiert, sie ist nur bei unabschirmten Strahlenquellen von Bedeutung, sie trägt bei äußerer Strahlenexposition nur zur Hautdosis und nicht zur Dosis in anderen Organen bei, und sie wird von vielen gebräuchlichen Dosis- und Dosisleistungsmeßgeräten nicht erfaßt. Aus diesen Gründen und zusätzlich noch weil, wie leicht abgeschätzt werden kann, die β -Dosisleistung in praktisch allen Fällen erheblich größer als die Dosisleistung der K-Strahlung ist, ist es berechtigt, in diesem Bericht nur von β -Dosisleistung zu sprechen, auch wenn in einigen Fällen ein Beitrag von K-Strahlung nicht ausgeschlossen werden kann.

3.2.3 Meßgenauigkeit

Bei Beurteilung der Meßergebnisse muß berücksichtigt werden, daß es sich um Messungen der Strahlenschutzüberwachung handelt, die z.T. bei sehr großen Dosisleistungen und unter erschwerten Bedingungen durchgeführt wurden. Bei kleinflächigen Kontaminationen hängt das Meßergebnis sehr stark von der genauen Lage des Meßortes ab. Da keine mechanischen Hilfsmittel zur Justierung des Dosimeters verwendet wurden, können bei Messungen nominell am gleichen Ort Abstandsunterschiede nicht völlig vermieden werden. Bei Nachmessungen wichen die Meßwerte im allgemeinen weniger als 10 % voneinander ab. Schwankungen der Meßwerte, wie sie z.B. in Abb. 6 auftreten, sind mit auf geringe Positionsunterschiede bei den Messungen zurückzuführen. Dies gilt insbesondere für die β -Dosisleistung, wenn diese bei größeren Absorberdicken als kleiner Wert aus einer Differenz großer Zahlen ermittelt wird.

3.3 Beurteilung der β -Strahlung

Die Meßergebnisse sollen Grundlage einer Beurteilung sein, wie weit β -Strahlung bei der Dosisbelastung der Beschäftigten in Kernkraftwerken zu berücksichtigen ist. Eine solche allgemeine Beurteilung ist kompliziert, wegen der Fülle unterschiedlicher Strahlenfelder mit

- sehr großen und kleinen Dosisleistungen,
- großflächigen und nahezu punktförmigen Kontaminationen,
- weicher und harter β -Strahlung und
- unterschiedlicher Anteile von β - und γ -Strahlung.

Auch an einem Reaktor braucht das Strahlenfeld nicht einheitlich zu sein. Es wurden zwar in den Kernkraftwerken Obrigheim und - abgesehen von einer unwesentlichen Ausnahme - Isar I nur weiche β -Strahlung und im Kernkraftwerk Grohnde nur harte β -Strahlung gefunden. In den anderen Kraftwerken wurden Strahlenfelder gefunden mit unterschiedlichem Anteil weicher und harter β -Strahlung. In einem Fall, bei der Hauptkühlmittelpumpe im Kraftwerk Biblis A, ist der Anteil weicher und harter β -Strahlung sogar an den verschiedenen Teilen derselben Komponente sehr unterschiedlich.

Für eine Beurteilung der Dosisbelastung der Beschäftigten durch β -Strahlung müssen zusätzlich zum Strahlenfeld noch

- die Art und die Dauer der Tätigkeit,
- der Abstand zur Strahlenquelle und
- die verwendete Schutzkleidung

berücksichtigt werden. Über die Art und Dauer der verschiedenen Tätigkeiten kann in diesem Bericht keine Aussage gemacht werden.

3.3.1 Abstand zur Strahlenquelle

Die β -Dosisleistung nimmt als Funktion des Abstandes von der Strahlenquelle erheblich mehr ab als die γ -Dosisleistung, wegen der Absorption der β -Strahlung in Luft. Dies gilt insbesondere für β -Strahlung kleiner Maximalenergie. So beträgt die Reichweite der 310 keV β -Strahlung des Co-60 in Luft nur etwa 66 cm. Da der weitaus überwiegende Teil dieser Strahlung schon durch erheblich dünnere Luftschichten als 66 cm absorbiert wird, muß bei Arbeiten an kontaminierten Gegenständen nur an den Händen die niederenergetische β -Strahlung berücksichtigt werden. An Kopf und Rumpf in 50 cm oder mehr Entfernung von der Strahlenquelle trägt niederenergetische β -Strahlung praktisch nicht mehr zur Dosis bei. Bei β -Strahlung großer Energie dagegen kann bis in Entfernungen von 100 cm die Absorption durch die Luft in erster Näherung vernachlässigt werden.

In den Strahlenfeldern in Kraftwerken ist vielfach sowohl β -Strahlung kleinerer als auch mittlerer und großer Energie gleichzeitig vorhanden. Wegen der geringeren Absorption der β -Strahlung großer Energie wird mit zunehmendem Abstand von der Strahlenquelle die mittlere Energie der β -Strahlung zunächst größer. β -Strahlung wird deswegen z.B. durch Schutzkleidung bestimmter Dicke in der Nähe der Strahlenquelle mehr geschwächt als in größerem Abstand (Abb. 7).

3.3.2 Schutzkleidung

β -Strahlung wird durch Schutzkleidung geschwächt. Diese Schwächung nimmt zu mit zunehmender flächenbezogener Masse der Schutzkleidung. Bei einigen unserer Messungen schien bei gleichem Wert der flächenbezogenen Masse die Schwächung der β -Strahlung durch homogene Stoffe (Gummi, Plastik) etwas größer zu sein als durch gewebtes Material. Die Meßergebnisse sind aber nicht ganz eindeutig. Innerhalb der Fehlergrenzen ist die Schwächung der β -Strahlung und damit die schützende Wirkung der Kleidung unabhängig vom Material und nur abhängig von der flächenbezogenen Masse der Schutzkleidung und der Energieverteilung der β -Strahlung.

Die flächenbezogene Masse scheinbar gleichartiger Schutzkleidung von verschiedenen Kernkraftwerken zeigte deutliche Unterschiede. In Tabelle 9 sind die kleinsten und größten Werte der flächenbezogenen Massen verschiedener Schutzkleidungen zusammengestellt. Die angegebenen Werte sind Mittelwerte aus jeweils mehreren Proben eines Kleidungsstückes. Im allgemeinen wichen die Mittelwerte von verschiedenen Proben desselben Kleidungsstückes um weniger als $\pm 10\%$ vom Mittelwert ab. Größere Abweichungen wurden nur bei den Papieranzügen ($\pm 25\%$), bei einem der dickeren Gummihandschuhe ($\pm 20\%$) und bei den dünnen Gummihandschuhen festgestellt. Bei diesen lagen die Werte der flächenbezogenen Massen zwischen $12,1$ und $23,4 \text{ mg.cm}^{-2}$. Da diese Gummihandschuhe sich beim Anziehen ausdehnen, ist die flächenbezogene Masse an einigen Stellen dieser Handschuhe beim Arbeiten sogar kleiner als $12,1 \text{ mg.cm}^{-2}$. Eine Aufgliederung der Werte in Tabelle 9 nach den einzelnen Kraftwerken erscheint nicht sinnvoll, da die Schutzkleidung nicht immer vom selben Hersteller bezogen wird und damit nicht immer gleich zu sein braucht. Die Werte der Tabelle 9 geben den Bereich an für die Schwankungen der flächenbezogenen Masse einer Schutzkleidungsart. Aus den Abbildungen 2 bis 9 kann für verschiedene Strahlenfelder die Wirkung der Schutzkleidung abgelesen werden.

Bei β -Strahlung kleiner Energie ist Schutzkleidung am effektivsten. Wegen der geringen Reichweite der β -Strahlung braucht hier nur die Schutzkleidung an den Händen betrachtet zu werden. Schon dünne Schutzkleidung schwächt β -Strahlung beträchtlich. Allerdings bieten die dünnen Gummihandschuhe mit einer flächenbezogenen Masse von z.T. weniger als $12,1 \text{ mg.cm}^{-2}$ oder auch Stoffhandschuhe allein noch keinen ausreichenden Schutz vor niederenergetischer β -Strahlung (Abb. 6). Normale Gummihandschuhe oder Gummi- und Stoffhandschuhe gleichzeitig schwächen niederenergetische β -Strahlung um mehr als einen Faktor 20. In einigen Strahlenfeldern, wenn unabgeschirmt das Verhältnis der β -Dosisleistung zur γ -Dosisleistung sehr groß ist, ist dann die β -Dosisleistung unter

der Schutzkleidung zwar noch 30 bis 50 % der γ -Dosisleistung. In den meisten Fällen wird die niederenergetische β -Strahlung aber durch eine Kombination von normalen Gummihandschuhen und Stoffhandschuhen ausreichend abgeschirmt.

Je höher die Energie der β -Strahlung desto schlechter ist die Abschirmung durch die Schutzkleidung. Aber auch hochenergetische β -Strahlung wird durch die Schutzkleidung erheblich geschwächt. So wird bei den härtesten Strahlenfeldern, die wir bei unseren Messungen in den Kernkraftwerken festgestellt haben, die β -Dosisleistung an den Händen durch die üblicherweise getragene Kombination normaler Gummi- und Stoffhandschuhe um etwa einen Faktor 2 verringert. Eine ausreichende Abschirmung der β -Strahlung hoher Energie ist durch übliche Schutzkleidung nicht mehr gegeben. In Strahlenfeldern mit β -Strahlung großer Energie muß für die einzelnen Tätigkeiten separat geprüft werden, welche Personendosen auftreten können und wie diese zu messen sind.

Wegen der bevorzugten Absorption der β -Strahlung kleiner Energie nimmt die mittlere Energie der β -Strahlung nicht nur mit zunehmendem Abstand von der Strahlenquelle, sondern auch unter Schutzkleidung zunächst zu. Das wird an einem Beispiel in Abb. 10 gezeigt. Die in Abbildung 7 dargestellten Werte der β -Dosisleistung als Funktion der flächenbezogenen Masse der Schutzkleidung sind in Abb. 10 dargestellt normiert auf 1 für eine flächenbezogene Masse 0. Zum Vergleich ist eine Absorptionskurve für Tl-204 β -Strahlung mit einer Maximalenergie von 0,77 MeV angegeben. Die am Laufrad der Hauptkühlmittelpumpe gemessene β -Dosisleistung nimmt für kleine Werte der flächenbezogenen Masse erheblich mehr ab als die β -Dosisleistung der Tl-204-Strahlung. Bei großen Werten der flächenbezogenen Masse wird die Absorptionskurve vom Laufrad der Hauptkühlmittelpumpe flacher. Das bedeutet, daß für größere Werte der flächenbezogenen Masse das Absorptionsverhalten der β -Strahlung vom Laufrad der Hauptkühlmittelpumpe gleich ist dem einer β -Strahlung mit einer größeren Energie als der des Tl-204. Die Energie der Tl-204 β -Strahlung ist so groß, daß die amtlichen Filmdosimeter zur Dosismessung geeignet sind (4). Durch die Schwächung der β -Strahlung durch Schutzkleidung wird erreicht, daß die β -Dosis unter der Schutzkleidung von amtlichen Filmdosimetern dosisrichtig erfaßt werden kann.

3.3.3 Strahlenfelder großer β -Dosisleistung

Bei einigen Tätigkeiten ist besonders mit β -Strahlung zu rechnen. Dies gilt für Tätigkeiten in Strahlenfeldern mit großer β -Dosisleistung, insbesondere bei harter β -Strahlung und auch bei großflächigen Quellen. Beispiele für solche Tätigkeiten sind Dampferzeugereinstiege, Arbeiten an noch nicht dekontaminierten Pumpen aus dem Primärkreislauf und Arbeiten an RDB-Deckeln eines Druckwasserreaktors.

Dampferzeugereinstiege werden nur mit spezieller Schutzkleidung ausgeführt. Die Schutzkleidung, Kunststoff-Schutzanzug und Overall, hat eine flächenbezogene Masse von mindestens 30 mg.cm^{-2} . Am größten Teil des Rumpfes (Unterwäsche), am Gesicht (Maske) und an den Händen ist die Schutzkleidung noch dicker. Diese Schutzkleidung reicht aber nicht aus zur Abschirmung der β -Strahlung (Abb. 2). Es tritt eine Hautdosis erzeugt durch β -Strahlung auf, die erheblich größer sein kann als die γ -Dosis. Die β -Dosis wird aber vom amtlichen Filmdosimeter erfaßt, da die β -Strahlung unter der Schutzkleidung hochenergetisch ist. Bei einem Dampferzeugereinstieg befindet sich ein großer Teil des Körpers (Kopf, Rücken, Hände, Unterschenkel) näher an der Strahlenquelle als der übliche Trageort des Personendosimeters, die Brust. Es ist deswegen bei einem Dampferzeugereinstieg darauf zu achten, daß ein für β -Strahlung geeignetes Dosimeter an der repräsentativen Körperstelle getragen wird.

An nicht dekontaminierten Teilen von Pumpen aus dem Primärkreislauf treten sehr große Werte der β -Dosisleistung auf. Welche β -Dosis bei Tätigkeiten an Pumpen erhalten wird, hängt von der Art der Tätigkeit ab. Ohne genauere Analyse kann aber keine Aussage über eine mögliche β -Personendosis gemacht werden. In einem Fall, als im Rahmen dieser Untersuchungen Thermolumineszenzdosimeter bei der Demontage des Laufrades einer Hauptkühlmittelpumpe eingesetzt wurden, wurde keine β -Personendosis festgestellt. Dieser Fall darf aber nicht verallgemeinert werden, weil in dem betreffenden Kraftwerk vor allem β -Strahlung kleiner Energie gefunden wurde. Es muß bei den verschiedenen Tätigkeiten an Pumpen des Primärkreislaufs genau geprüft werden, mit welchen β -Personendosen zu rechnen ist.

An RDB-Deckeln von Druckwasserreaktoren wurden zum Teil große Dosisleistungen an großflächigen Strahlenquellen, erzeugt von β -Strahlen mit großer Maximalenergie, festgestellt. Ohne genau Kenntnis der Tätigkeiten ist auch hier keine Aussage über eine β -Personendosis möglich.

3.3.4 Strahlenfelder geringer β -Dosisleistung

An Turbinen wurden nur an wenigen Stellen kleinflächige Kontaminationen mit geringen Werten der β -Dosisleistung festgestellt. Ebenso war die β -Dosisleistung in der untersuchten Kondensationskammer gering. Bei Tätigkeiten an diesen Komponenten braucht eine β -Personendosis nicht berücksichtigt zu werden.

3.3.5 Kleinflächige Strahlenquellen

An Werkzeugen auf der Reaktorbedienbühne wurden größere β -Dosisleistungen gemessen. Die Orte mit größerer Dosisleistung sind auf kleine Stellen beschränkt. Diese Stellen befinden sich im allgemeinen an der Spitze der Werkzeuge oder in Vertiefungen, wo normalerweise das Werkzeug nicht angefaßt wird. Beim Umgang mit diesen Werkzeugen ist keine β -Dosis zu erwarten, wenn nicht direkt an den kontaminierten Stellen hantiert wird.

An dekontaminierten Gegenständen ist die zurückbleibende Kontamination im allgemeinen sehr inhomogen verteilt. Die kontaminierten Stellen sind vielfach sehr kleinflächig. Nur in der Nähe dieser Stellen werden höhere Werte der β -Dosisleistung festgestellt. Die Dosisleistung kann an einigen Gegenständen sehr hohe Werte annehmen (Tab. 7). Solche Stellen sollten mit Hilfe einer Messung lokalisiert werden. Wenn direkt an Stellen großer Dosisleistung hantiert werden muß und wenn die β -Strahlung nicht hinreichend durch die Schutzkleidung absorbiert wird, sollte ein für β -Strahlung geeignetes Dosimeter getragen werden. Da in größerer Entfernung von der Strahlenquelle der niederenergetische Anteil der β -Strahlung absorbiert ist, genügt zur Bestimmung der Dosis an der Brust das amtliche Filmdosimeter.

4. Augenlinsen und Testes

β -Strahlung erzeugt bei äußerer Bestrahlung vor allem eine Hautdosis. Bis jetzt wurde auch nur die Dosis der Haut erzeugt durch β -Strahlung betrachtet. Bei β -Strahlung großer Energie müssen eventuell noch die Teilkörperdosen der Augenlinse und der Testes berücksichtigt werden.

Die Augenlinse liegt in einer Gewebetiefe von 3 mm entsprechend 300 mg.cm^{-2} . In den Fällen, in denen die β -Dosisleistung bis zu diesen Absorberdicken gemessen wurde, ist die β -Dosisleistung hinter einem Absorber von 300 mg.cm^{-2} klein im Vergleich zur γ -Dosisleistung (Abb. 2). Da der Grenzwert der Körperdosis der Augenlinse dreimal so groß ist wie der des Ganzkörpers, braucht die kleine β -Dosis der Augenlinse nicht besonders betrachtet zu werden.

Dies ist auch in Übereinstimmung mit der Berechnungsgrundlage zur Ermittlung der Körperdosis bei äußerer Strahlenexposition durch Elektronen (3), in der es heißt: "Eine Teilkörperdosisabschätzung für die Augenlinse ist 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 hier genannte maximale β -Energie von 2,5 MeV wird von den auf den Wischproben festgestellten Nukliden nicht ausgesandt.

Für die Testes wird eine Gewebetiefe von 2 bis 32 mm angenommen (3). 2 mm Tiefe entsprechen einer flächenbezogenen Masse von 200 mg.cm^{-2} . Zusätzlich sind die Testes gegen β -Strahlung durch Kleidung mit mindestens 30 mg.cm^{-2} (Wäsche und Overall) geschützt. Bei einigen Tätigkeiten wird sogar noch dickere Schutzkleidung getragen. Beim Dampferzeuger-Einstieg beträgt die flächenbezogene Masse der Schutzkleidung 50 mg.cm^{-2} wegen des zusätzlichen Kunststoff-Schutzanzuges. Durch eine Schicht von 230 bis 250 mg.cm^{-2} wird die β -Strahlung erheblich geschwächt. Da für die Gonaden derselbe Grenzwert gilt wie für die Körperdosis, kann der Beitrag der β -Strahlung nicht mehr ohne weiteres vernachlässigt werden. Ob eine Abschätzung des durch β -Strahlung erzeugten Dosisanteils erforderlich ist, hängt von der Energie der β -Strahlung und von der Art der Tätigkeit ab. In vielen Fällen ist der Abstand vom Dosimeter an der Brust bis zur Strahlenquelle kleiner als von der Strahlenquelle bis zu den Testes. Dann zeigt das Dosimeter an der Brust einen höheren Wert an, als es der Dosis der Testes entspricht, und der kleine Beitrag der β -Strahlung zur Dosis der Testes braucht nicht zusätzlich berücksichtigt zu werden. Bei Arbeiten im Dampferzeuger braucht das Dosimeter an der Brust nicht näher an der Strahlenquelle zu sein als die Testes. Wird bei solchen Tätigkeiten nicht die Anzeige des an der Brust, sondern des z.B. am Kopf getragenen Dosimeters für die Ganzkörper-Dosis zugrunde gelegt, dann braucht die β -Dosis der Testes nicht gesondert abgeschätzt zu werden. Anderenfalls müssen die Testes zusätzlich gegen β -Strahlung geschützt werden, oder die β -Dosis der Testes muß abgeschätzt werden.

5. Zusammenfassung

In sieben deutschen Kernkraftwerken wurde die β -Dosisleistung und die Abschirmung der β -Strahlung durch Schutzkleidung gemessen. Höhere Anteile der β -Strahlung an der Dosisleistung wurden nur an relativ wenig Stellen festgestellt. Die gemessenen β -Dosisleistungen waren dort aber teilweise sehr hoch, und das Verhältnis der β -Dosisleistung zur γ -Dosisleistung erreichte Werte bis größer als 40:1. Die Strahlenfelder waren sehr unterschiedlich, sowohl großflächig als auch kleinflächig, mit harter und auch weicher β -Strahlung. Wegen dieser verschiedenartigen Strahlenfelder sind allgemein gültige Aussagen über den Beitrag der β -Strahlung zur Körperdosis kaum möglich. Bei niederenergetischer, weicher β -Strahlung kann Schutzkleidung die β -Strahlung ausreichend abschirmen. Bei einigen Tätigkeiten, wo besonders mit harter β -Strahlung zu rechnen ist, z.B. bei Dampferzeuger-Einstiegen, wird die β -Dosis durch das amtliche Filmdosimeter gemessen. Es ist aber darauf zu achten, daß das Dosimeter am repräsentativen Ort getragen wird. Zur besseren Beurteilung der Dosisbelastung durch β -Strahlung sollten bei bestimmten Arbeiten für β -Strahlung geeignete Dosimeter getragen werden.

Mein Dank gilt den Kernkraftwerken für die Ermöglichung dieser Untersuchungen und dem jeweiligen Strahlenschutzpersonal für ihre bereitwillige und freundliche Hilfe. Danken möchte ich auch den Mitarbeitern der ASS, den Herren H. Krug, F. Schirmer und H. Schüren, für ihren Einsatz bei diesen Messungen.

Literatur

- (1) M. Heinzelmann, M. Keller
An energy-independent dose rate meter for β - and 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) J. Böhm, G. Buchholz
Evaluation of the results
in: Beta Dosimetry; Fifth information seminar on the
radiation protection dosimeter intercomparison programme
Report EUR 11363 (1988) p. 76

Tabelle 1: Für die β -Dosisleistungsmessung ausgewählte Kernkraftwerke

Kernkraftwerk	Inbetriebnahme
a) <u>Druckwasserreaktor-Anlagen</u>	
Kernkraftwerk Obrigheim	1968
Kernkraftwerk Biblis, Block A	1974
Kernkraftwerk Philippsburg 2	1984
Kernkraftwerk Grohnde	1984
b) <u>Siedewasserreaktor-Anlagen</u>	
Kernkraftwerk Isar 1	1977
Kernkraftwerk Philippsburg 1	1979
Kernkraftwerke Gundremmingen, Block C	1984

Tabelle 2: Anzahl der Messungen an verschiedenen Komponenten und weiteren Gegenstände

Komponente/Gegenstand	Zahl
Dampferzeuger	2
Meßpunkte insgesamt	5
RDB-Deckel	5
Meßpunkte insgesamt	13
Kondensationskammer	1
Pumpenteile	17
Ventile, Leitungen	8
Turbinen	2
Sonstige Gegenstände	23

Tabelle 3: Verhältnis der Anzeigen der Detektoren des Thermolumineszenzdosimeters (2) in verschiedenen Strahlenfeldern und Zusammenhang mit der Hautdosis.

D_1, D_2, D_3 = Anzeigen der 3 Detektoren

Strahlenart	Verhältnis der Detektoranzeigen		Wert der Hautdosis
	$D_1:D_2$	$D_2:D_3$	
γ	1	1	D_1
β	Y-90 2,2 MeV	1,3	D_1
	Tl-204 0,77 MeV	10	D_1
	Pm-147 0,23 MeV	-	$D_1 \times 1,33$

Die Werte von $D_1:D_2$ und $D_2:D_3$ in β - γ -Mischstrahlenfeldern hängen ab von den Anteilen der β - und γ -Strahlung.

Tabelle 4: Dosisleistungen in Dampferzeugern und an Dampferzeugerdeckeln

Kraftwerk	Meßort	Abstand zur Oberfläche	$\dot{D}_{\beta, h}^{-1}$ mSv.h ⁻¹	$\dot{D}_{\gamma, h}^{-1}$ mSv.h ⁻¹
Biblis, Block A	Mannloch, Wassereintrittsseite	mitten im Mannloch	700	100
	Mannloch, Wasseraustrittsseite	mitten im Mannloch	1350	150
	Dichtungsdeckel ^{*)}	2 cm	1800	200
	des Mannlochs	30 cm	70	30
Philippsburg 2	Mannloch, Wassereintrittsseite	2 cm mitten im Mannloch	88 33	8,2 6,6
	Dampferzeuger- ^{*)}	2 cm	316	34
	deckeldichtung	30 cm	9,5	4,5

^{*)} Der ausgebaute Deckel war teilweise mit Bleimatten (Biblis) bzw. mit Kunststoffolie (Philippsburg) abgedeckt.

Tabelle 5: Dosisleistung an RDB-Deckeln

Kraftwerk/ Kraftwerkstyp	Meßort	Abstand zur Oberfläche cm	$\dot{D}_\beta$ mSv.h ⁻¹	$\dot{D}_\gamma$ mSv.h ⁻¹
Obbrigheim/DWR	innen an KI-Son- dendurchführung	2	43	45
	außen an einer Schraube nahe der Dichtung	2	155	15
Philippsburg 2/DWR	außen an der Dichtfläche	2 ca. 50*)	90 1,3	6,0 0,48
Grohnde/DWR	außen an der Dichtfläche	2 25	280 25	20 10
Isar 1/SWR	Innenwand	2	1,8	0,20
Philippsburg 1/SWR	außen an der Dichtfläche	2	0,57	0,03
	innen, an einem Vorsprung	2	3,6	0,20
	Innenwand	2	0,8	-**)
Gundremmingen, Block C/SWR	Dichtfläche, an äußerer Dichtung	2	0,10	-***)
	Dichtfläche, an innerer Dichtung	2	0,14	0,04
	Dichtfläche, zwischen zweiter Dichtung und Innenwand	2	0,24	0,09
	Am unteren Rand der Innenwand	2	1,1	0,16
	Innenwand	ca. 15-20	0,85	0,15

*) Richtung zum Meßort unter 45° zur Dichtfläche

**) $D_\gamma \approx 0,2 \text{ mSv.h}^{-1}$; Wert nicht gemessen, da Meßpunkt benachbart zum vorhergehenden

***) $D_\gamma < 0,02 \text{ mSv.h}^{-1}$; mit Dosimeter DL 1 nicht mehr meßbar.

Tabelle 6: Anteil einzelner Radionuklide auf den Wisch- und Kratzproben von RDB-Deckeln

Kraftwerk		Anteil in %										Sb-122	Sb-124	J-131	Cs-137
		Cr-51	Mn-54	Fe-59	Co-57	Co-58	Co-60	Zn-65	Zr-95	Nb-95	Ag-110m				
Obbrigheim	Dichtfläche	1,6	1,1	-	-	27,5	69,7	-	-	1,5	-	-	0,4	-	-
	Kalotte	1,6	1,0	-	-	26,7	69,7	-	-	1,0	-	-	-	-	-
Philippsburg 2	Deckel	5,5	4,5	0,97	0,31	69,7	13,3	-	-	2,36	-	-	3,5	-	-
	Deckel- dichtung	11,5	-	-	-	1,9	10,1	-	-	-	73,3	-	3,0	-	-
Grohnde	Dichtfläche am Ort der Dichtung	5,9	0,6	-	-	5,0	4,0	-	13,7	-	-	27,9	41,8	-	0,5
Isar 1	-----	7	16	-	-	2	71	4	-	-	-	-	-	-	-
Philippsburg 1	-----	5,2	12,7	1,0	-	1,9	63,1	15,1	-	1,0	-	-	-	-	-
Gundremmingen, Block C	-----	37,5	21,6	-	-	-	31,5	-	-	-	-	-	-	9,4	-

Tabelle 7: Dosisleistung an verschiedenen Pumpenteilen

Kraftwerk	Pumpe/ Pumpenteil	dekontaminiert Ja/Nein	Abstand cm	$\dot{D}_B$ mSv.h ⁻¹	$\dot{D}_Y$ mSv.h ⁻¹	Bemerkungen
Obrigheim	Hauptkühlmittel- Pumpe					
	Laufrad	Ja	2 30	320 19	29 5,7	mehrfach dekontaminiert
	Einlaufdüse	Ja	2	490	34	
	Leitschaukel	Ja	2	1,9	2,0	mehrfach dekontaminiert
Biblis, Block A	Hauptkühlmittel- Pumpe					
	Laufrad	Ja	2 30	48 2,1	2,5 0,45	Punktkontamination
	Welle	Ja	2 30	25 1,3	1,0 0,2	Punktkontamination
	Bolzen am Dichtungsgehäuse	Ja	2	6,0	4,0	Punktkontamination
Philippsburg 2	Hauptkühlmittel- Pumpe					
	Leitrad	Ja	2 mitten im inneren Rohr	0,69 0,76	0,11 0,9	
	Gleitrichter	Nein	2 mitten im inneren Rohr	89 24	8,0 4,0	Pumpe als Ganzes dekon- tamiert
	Nachkühlpumpe					
	Laufrad	Ja	2 30	0,2 0,02	0,1 0,02	Laufrad mit Kunststoff- folie abgedeckt
Grohnde	Hauptkühlmittel- Pumpe					
	Gleitringe	Ja	2 2 30	9,8 7,2 0,62	0,25 0,30 0,03	Gleitring unter Kunst- stoffolie
Isar 1	Lagerdruckwasser- Pumpe	Nein	3 30	98 13	12 7	Messung durch das Kernkraftwerk
		Ja	3	105	35	Messung durch das Kern- kraftwerk nach erster Dekontamination
		Ja	2 30	82 4,2	18 1,8	nach zweiter Dekontami- nation, Punktkontamination
	Reaktorwasserrei- nigungspumpe					
	Spaltrohr	Nein	3	4,0	0,8	Messung durch das Kernkraftwerk
	Gehäuse	Nein	3	900	100	Messung durch das Kernkraftwerk
Philippsburg 1	Reaktorwasserrei- nigungspumpe					
	Laufrad	Nein	2 30	61 2,6	19 2,3	
	Welle	Nein	2 30	13 0,04	4,0 0,14	
Gundremmingen, Block C	Reaktorwasserrei- nigungspumpe					
	in einer Öffnung	Nein	mitten im Rohr	0,90	0,10	
	am Flansch	Nein	2	0,08	0,12	

Tabelle 8: Thermolumineszenzdosimeterergebnisse bei der Demontage des Laufrades einer Hauptkühlmittelpumpe

Trageort	Hautdosis mSv	$D_1:D_2^{*)}$	$D_2:D_3^{*)}$
linke Hand	3,9	1,0	- ^{**)}
rechte Hand	6,4	0,94	1,0
Kopf	2,7	0,96	1,1

^{*)} D_1, D_2, D_3 = Anzeigen der 3 Detektoren eines Dosimeters

^{**)} Die Anzeige des dritten Detektors dieses Dosimeters mußte verworfen werden.

Tabelle 9: Flächenbezogene Masse $\rho \cdot x$ der Schutzkleidung in Kernkraftwerken

Schutzkleidung	Anzahl untersuchter Teile	$\rho \cdot x$ mg.cm ⁻²	
		kleinster Wert	größter Wert
Overall, normal	7	9,8	13,7
Overall, dick	3	17,0	24,4
Einweg-Overall (Papieranzug)	4	3,9	7,8
Kunststoff-Schutzanzug	6	17,9	22,2
Unterwäsche	7	20,1	27,2
Stoffhandschuhe	5	14,6	23,2
Gummihandschuhe, normal	9	36,9	54,0
Gummihandschuhe, dick	2	75,2	84,0
Gummihandschuhe, dünn	2	15,8	17,4

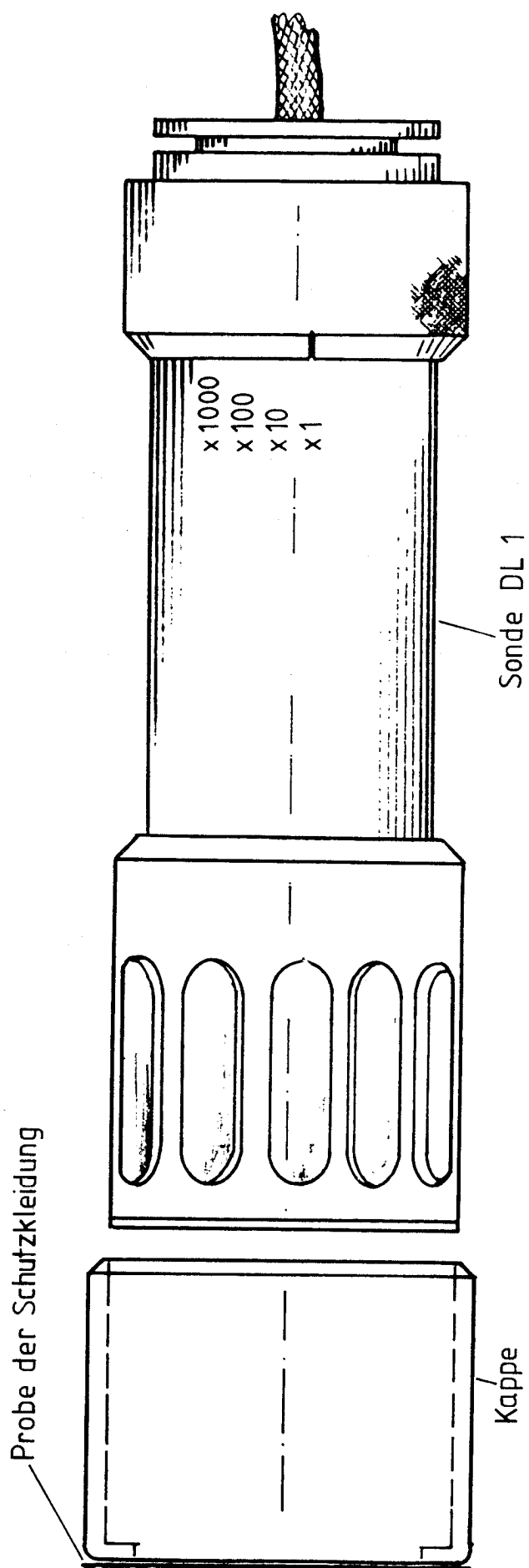


Abb. 1: Sonde des Dosimeters DL 1 mit der Kappe für die Absorptionsmessungen, Kappe abgenommen

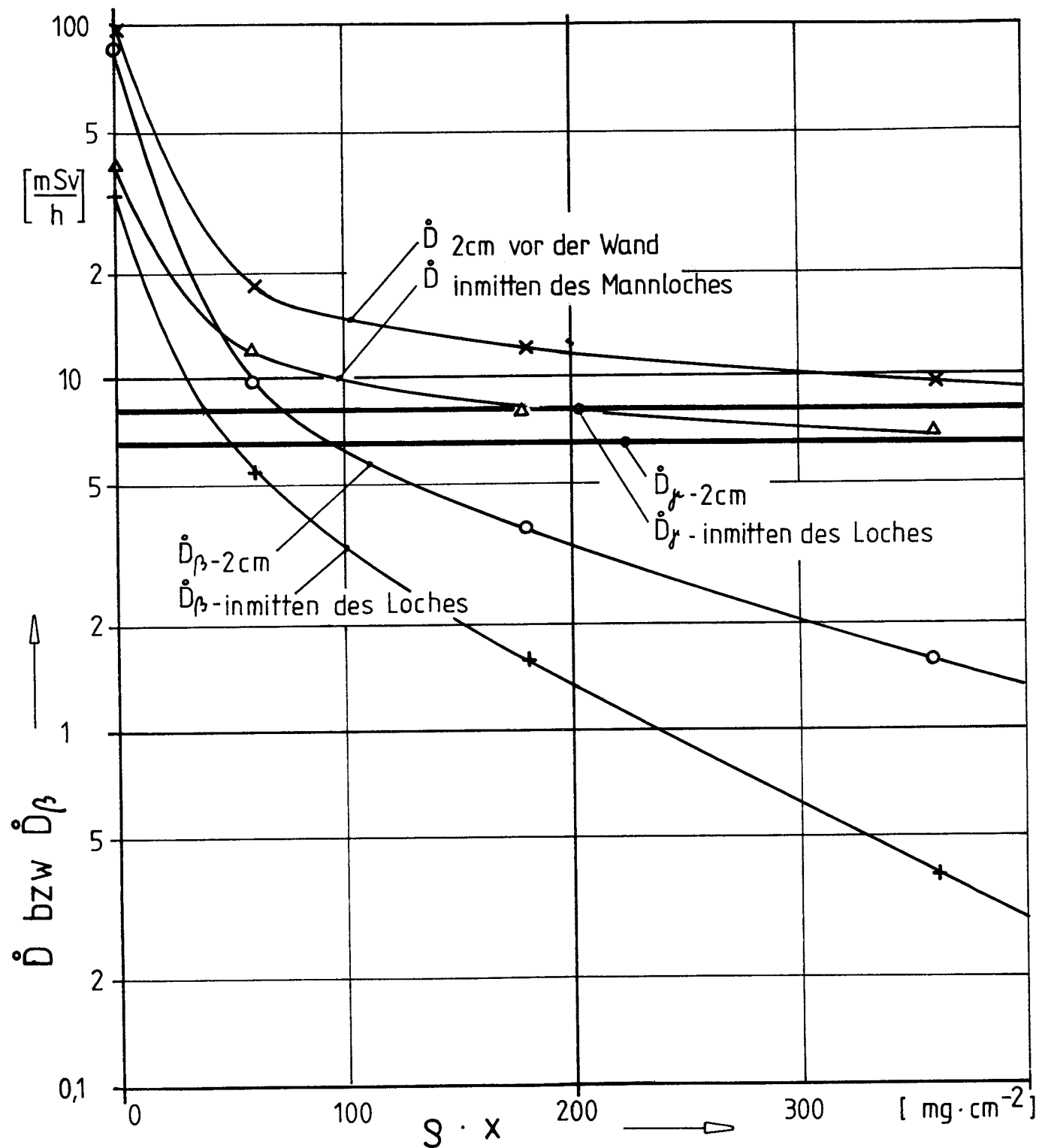


Abb. 2: Dosisleistung $\dot{D}$ als Funktion der flächenbezogenen Masse $\rho \cdot x$
Messung im Mannloch des Dampferzeugers 4o im Kernkraftwerk
Philippsburg 2

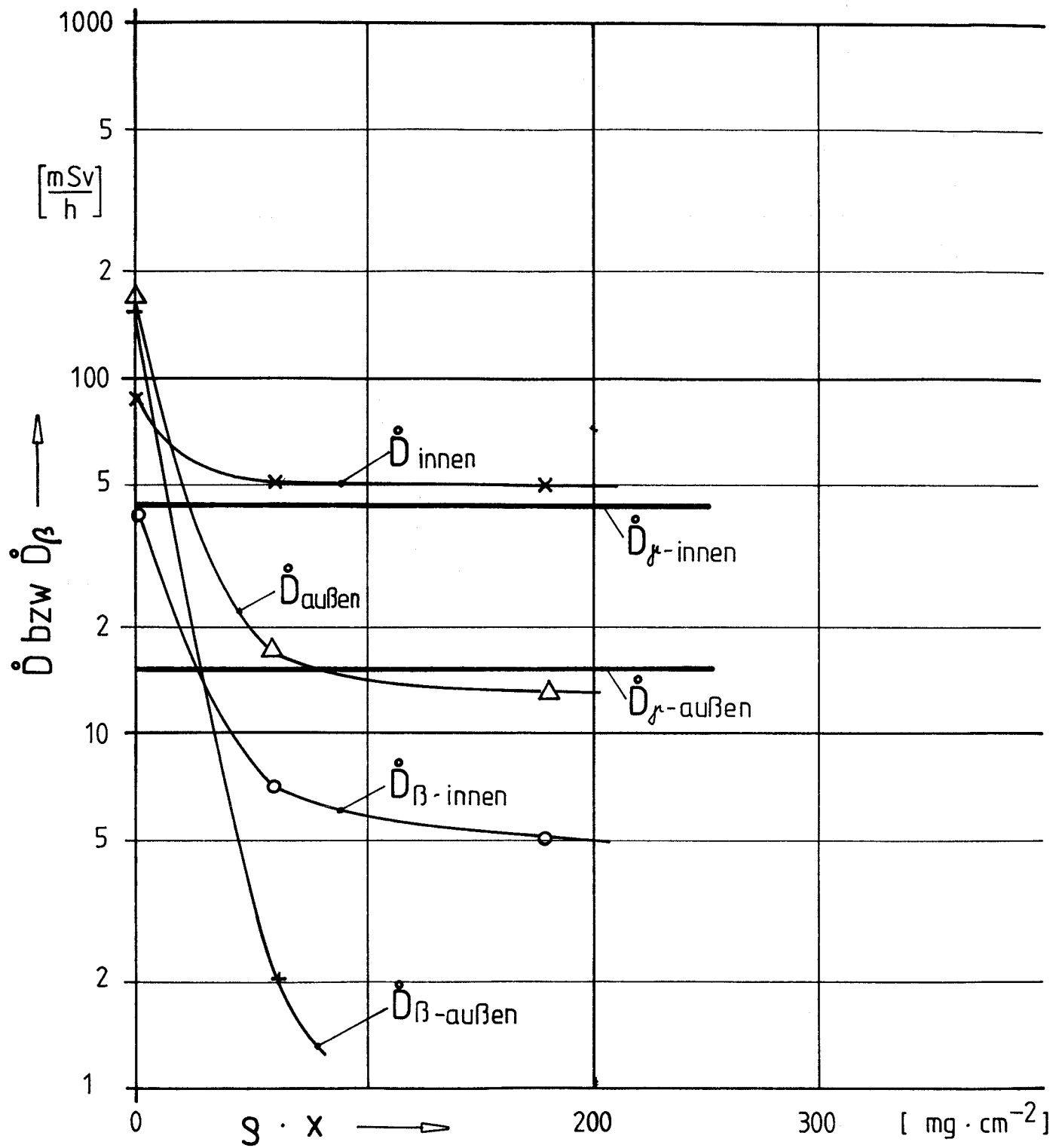


Abb 3: Dosisleistung $\dot{D}$ als Funktion der flächenbezogenen Masse $\rho \cdot x$
 Messung am RDB-Deckel im Kernkraftwerk Obrigheim
 in jeweils 2 cm Abstand innen an der KI-Sondendurchführung
 und außen an einer Schraube

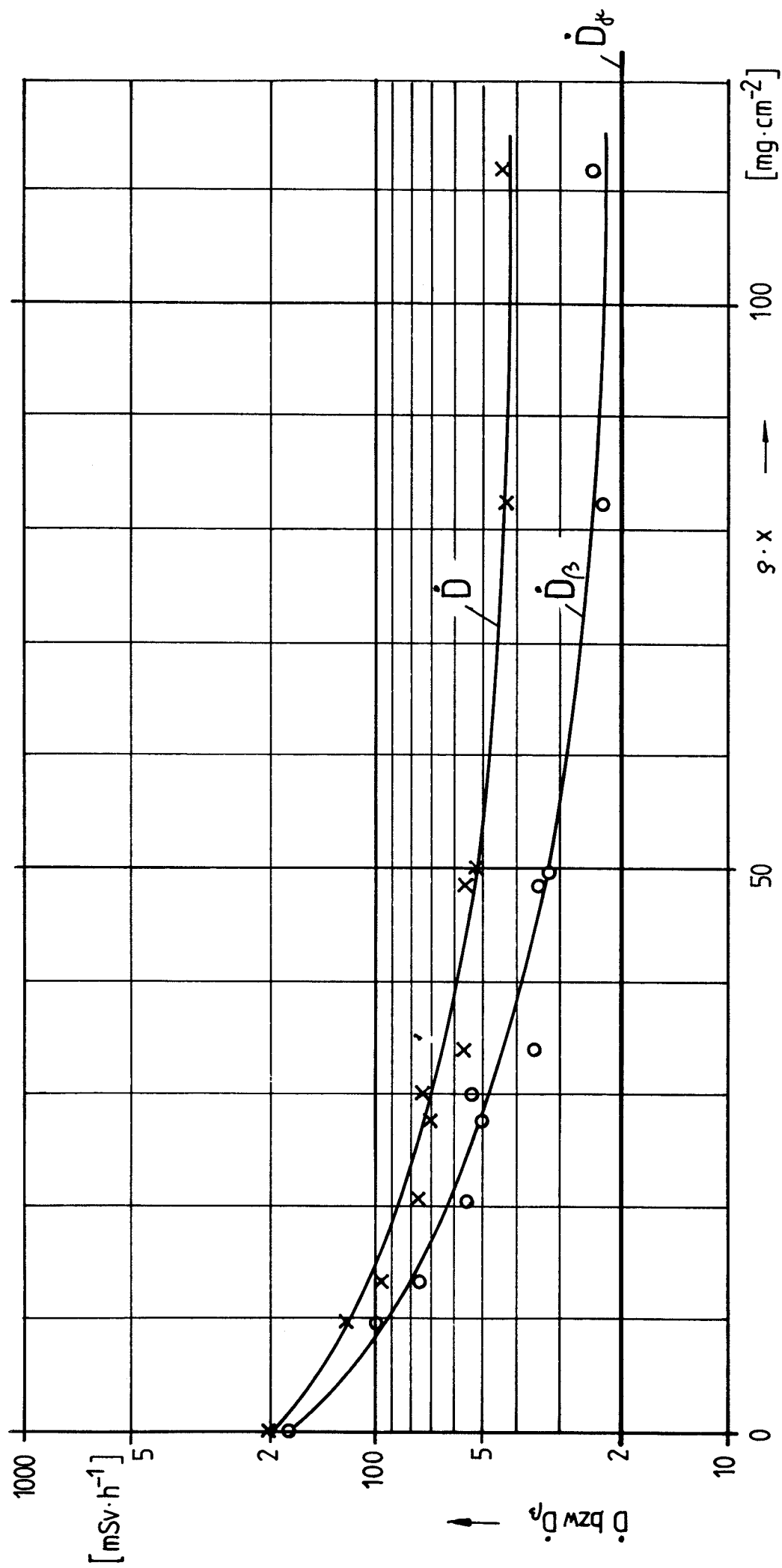


Abb. 4: Dosisleistung $\dot{D}$ als Funktion der flächenbezogenen Masse $\rho \cdot x$
Messung am RDB-Deckel im Kernkraftwerk Grohnde
in 2 cm Abstand von der Dichtfläche

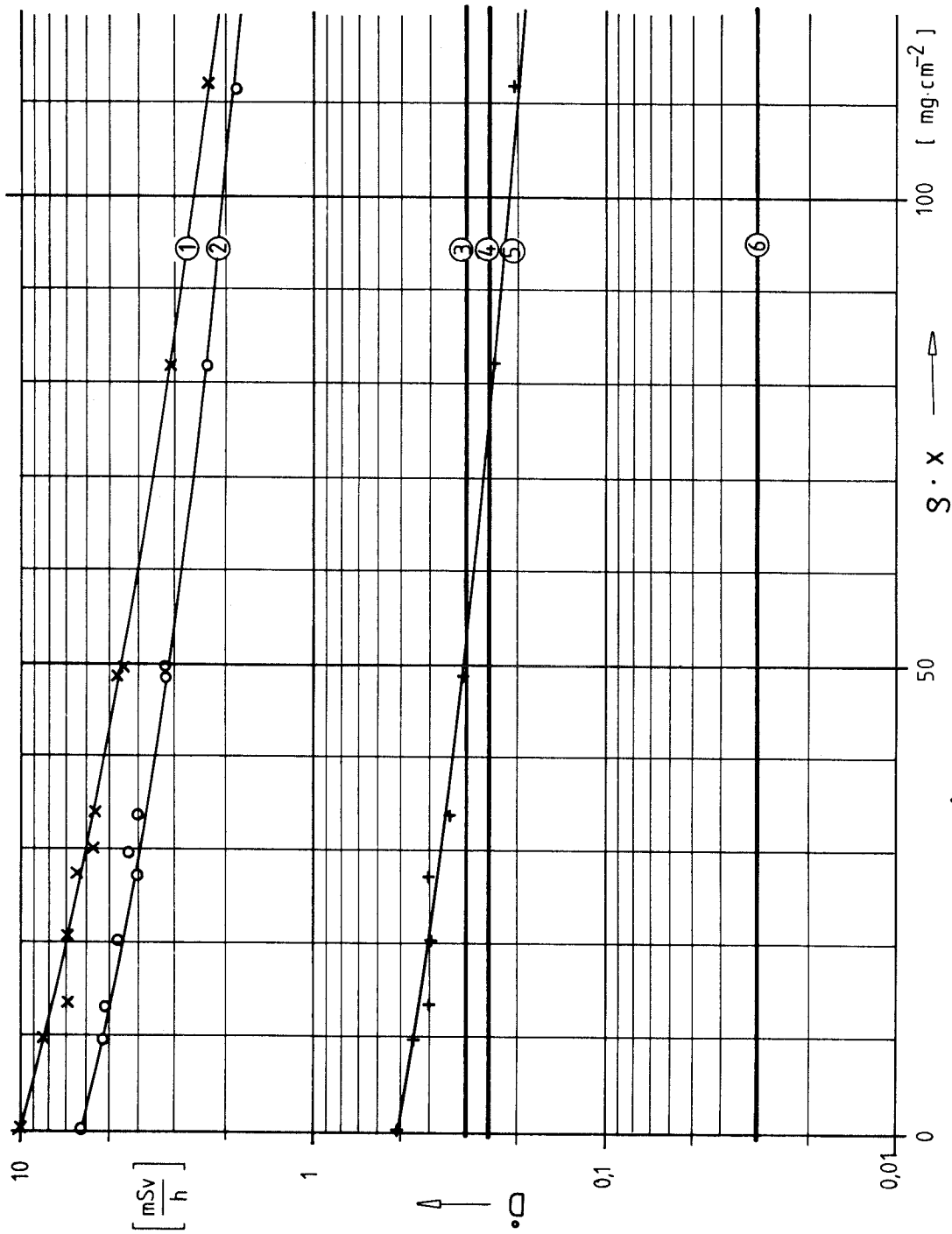


Abb. 5: Dosisleistung $\dot{D}$ als Funktion der flächenbezogenen Masse $\rho \cdot x$
Messung an Gleitringen einer Hauptkühlmittelpumpe
im Kernkraftwerk Grohnde

- ① $\dot{D}$ in 2 cm Abstand vor einem unabgeschirmten Gleitring
- ② $\dot{D}$ in 2 cm Abstand - Gleitring mit Plastikfolie abgedeckt
- ③ $\dot{D}_f$ in 2 cm Abstand vor dem Gleitring unter der Folie
- ④ $\dot{D}_f$ in 2 cm Abstand vor einem unabgeschirmten Gleitring
- ⑤ $\dot{D}$ in 30 cm Abstand vor einem unabgeschirmten Gleitring
- ⑥ $\dot{D}_f$ in 30 cm Abstand vor einem unabgeschirmten Gleitring

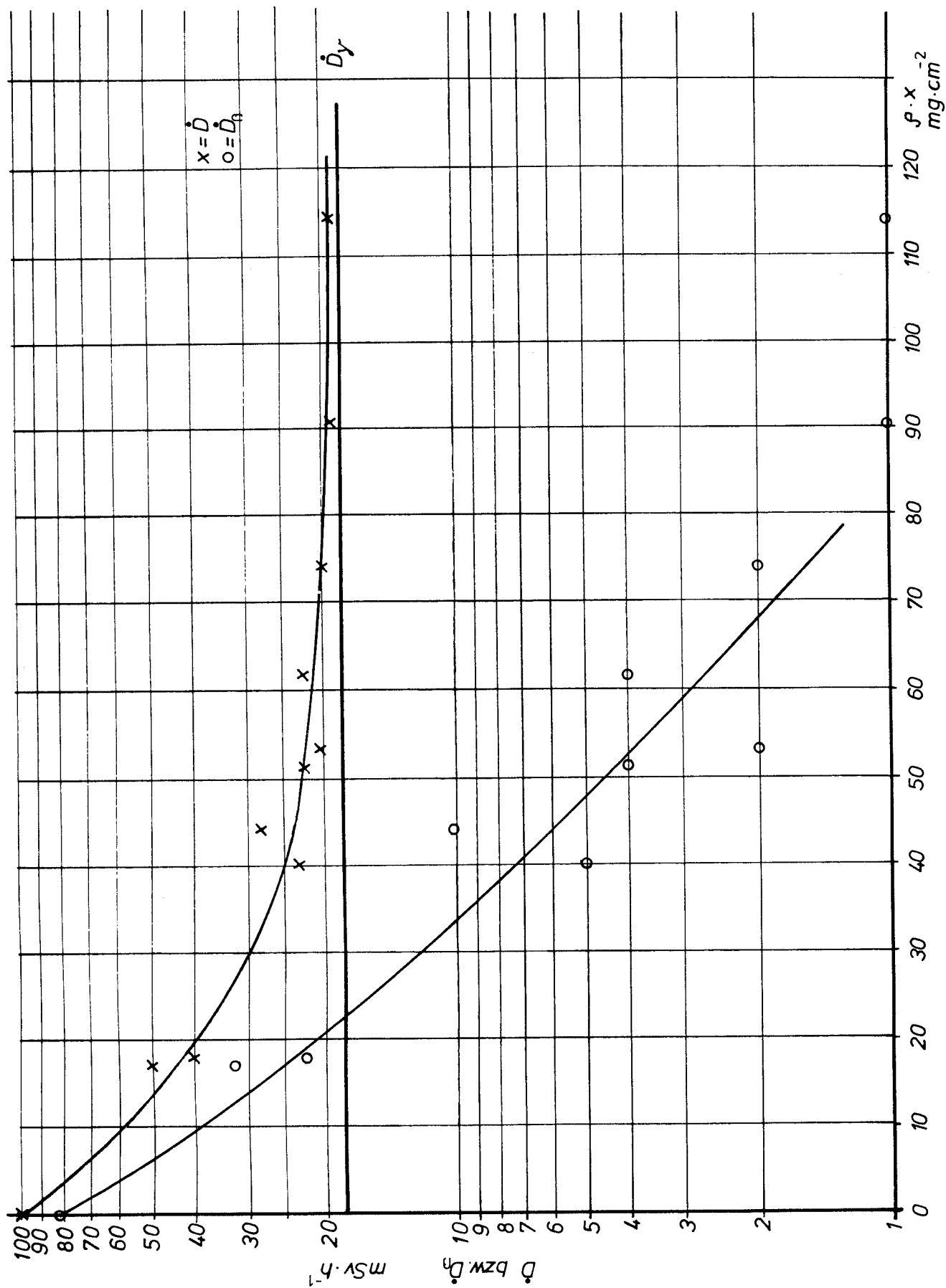


Abb. 6: Dosisleistung $\dot{D}$ als Funktion der flächenbezogenen Masse $\rho \cdot x$
Messung in 2 cm Abstand von einer Lagerdruckwasserpumpe
im Kernkraftwerk Isar I

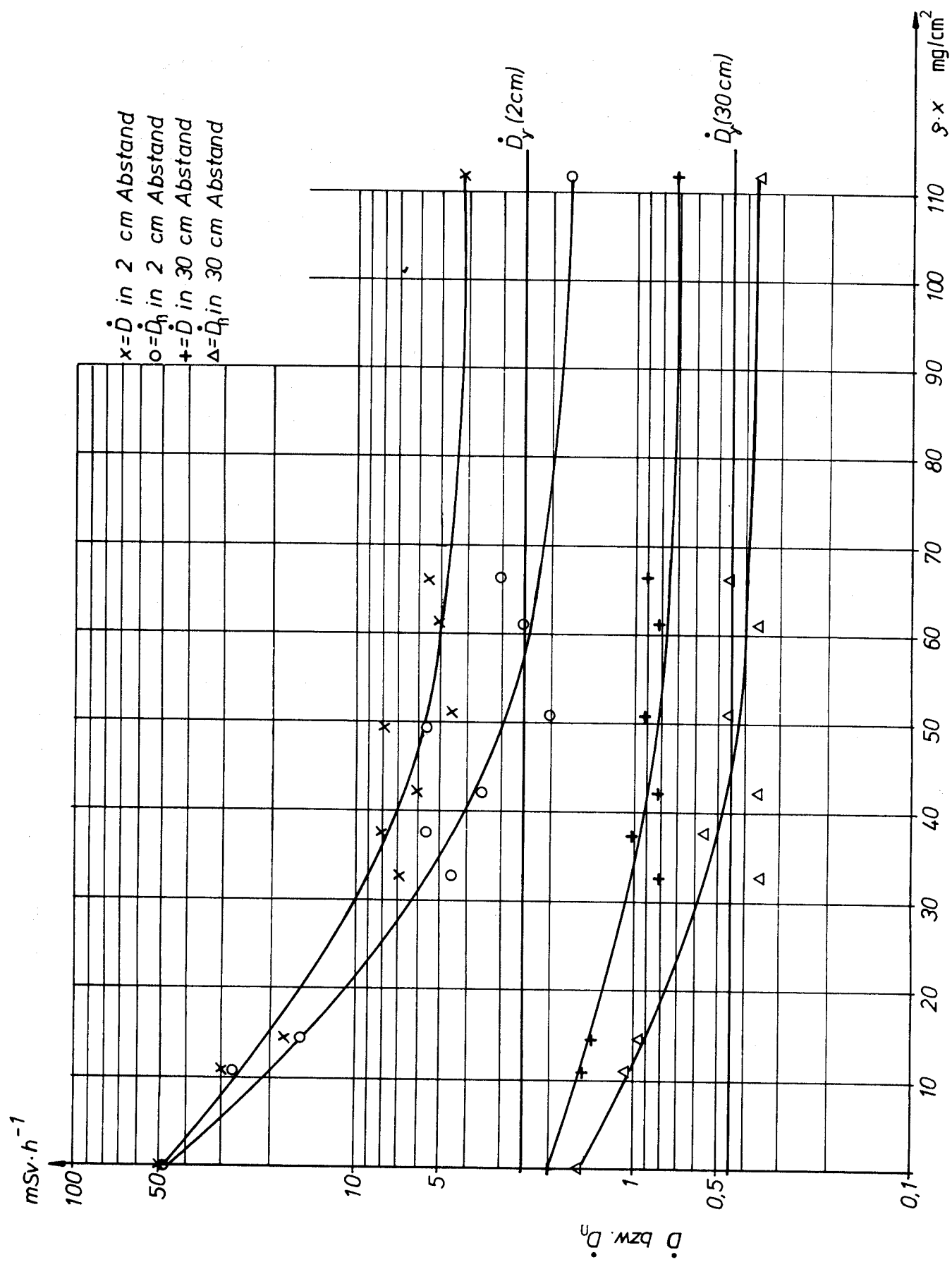


Abb. 7: Dosisleistung $\dot{D}$ als Funktion der flächenbezogenen Masse $\rho \cdot x$
 Messung am Laufrad der Hauptkühlmittelpumpe YD 40
 im Kernkraftwerk Biblis A

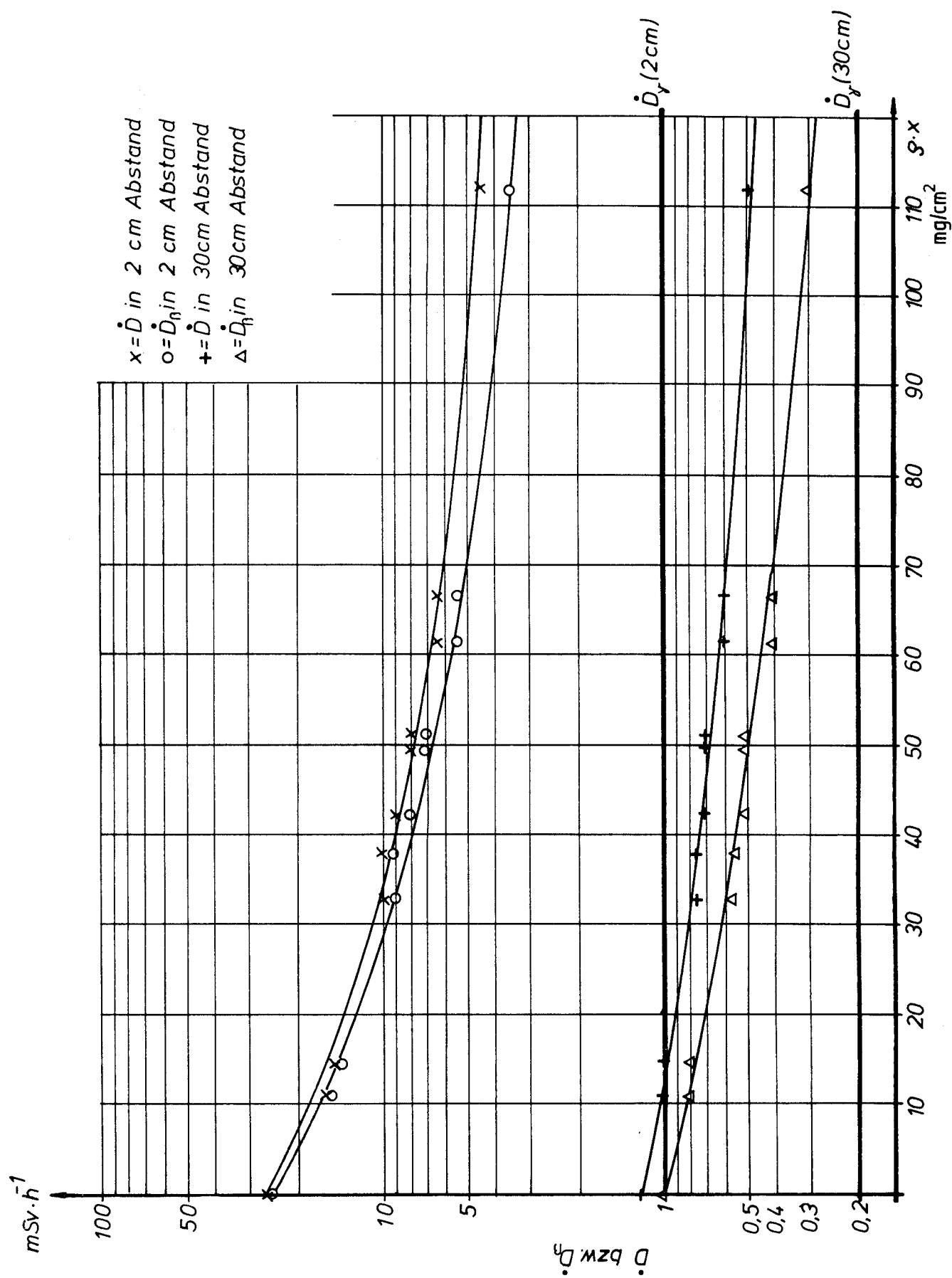


Abb. 8: Dosisleistung $\dot{D}$ als Funktion der flächenbezogenen Masse $\rho \cdot x$
 Messung an der Welle der Hauptkühlmittelpumpe YD 40
 im Kernkraftwerk Biblis A

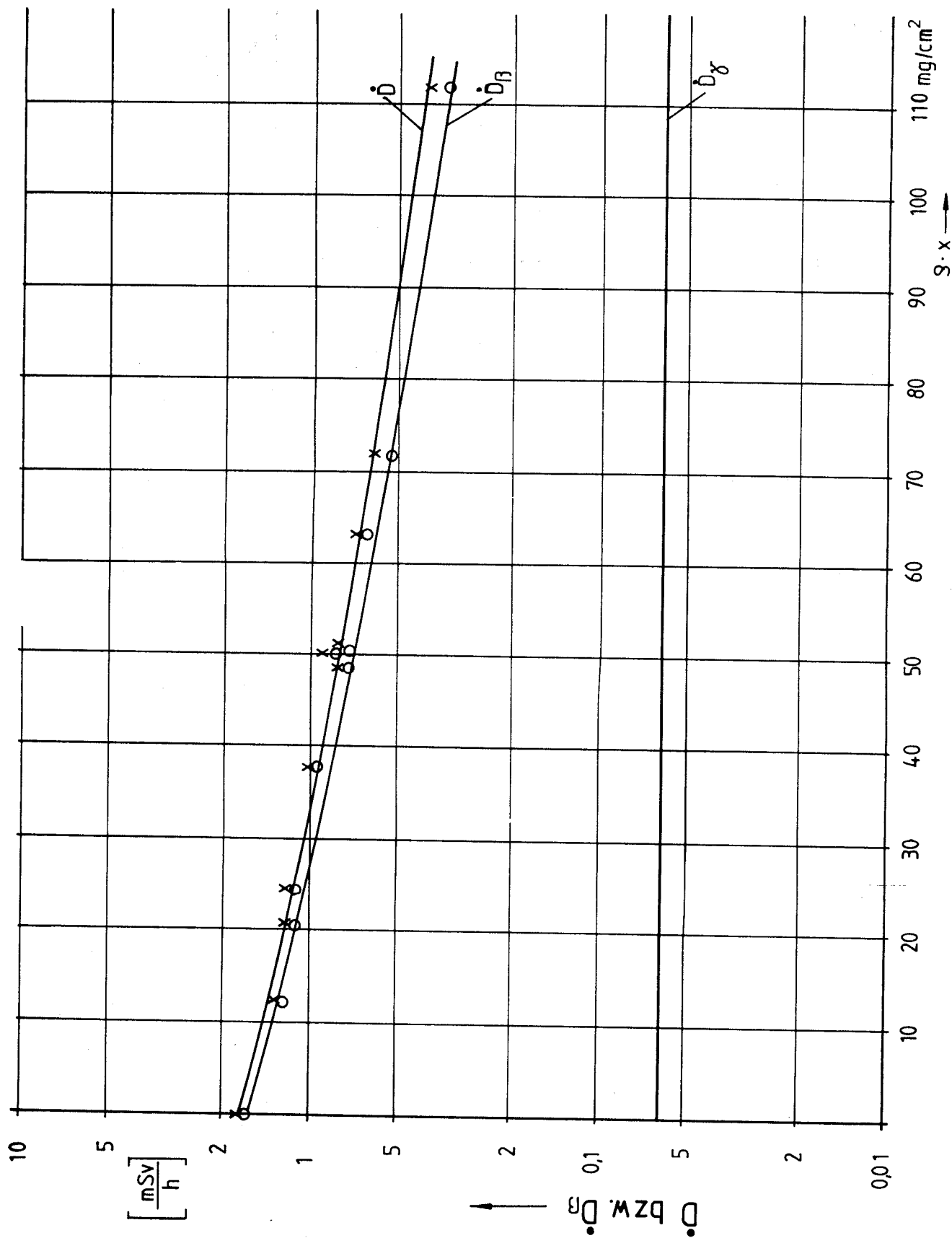


Abb. 9: Dosisleistung $\dot{D}$ als Funktion der flächenbezogenen Masse $\rho \cdot x$
Messung im Isoventil RA 21S1o2 im Kernkraftwerk Philippsburg 1

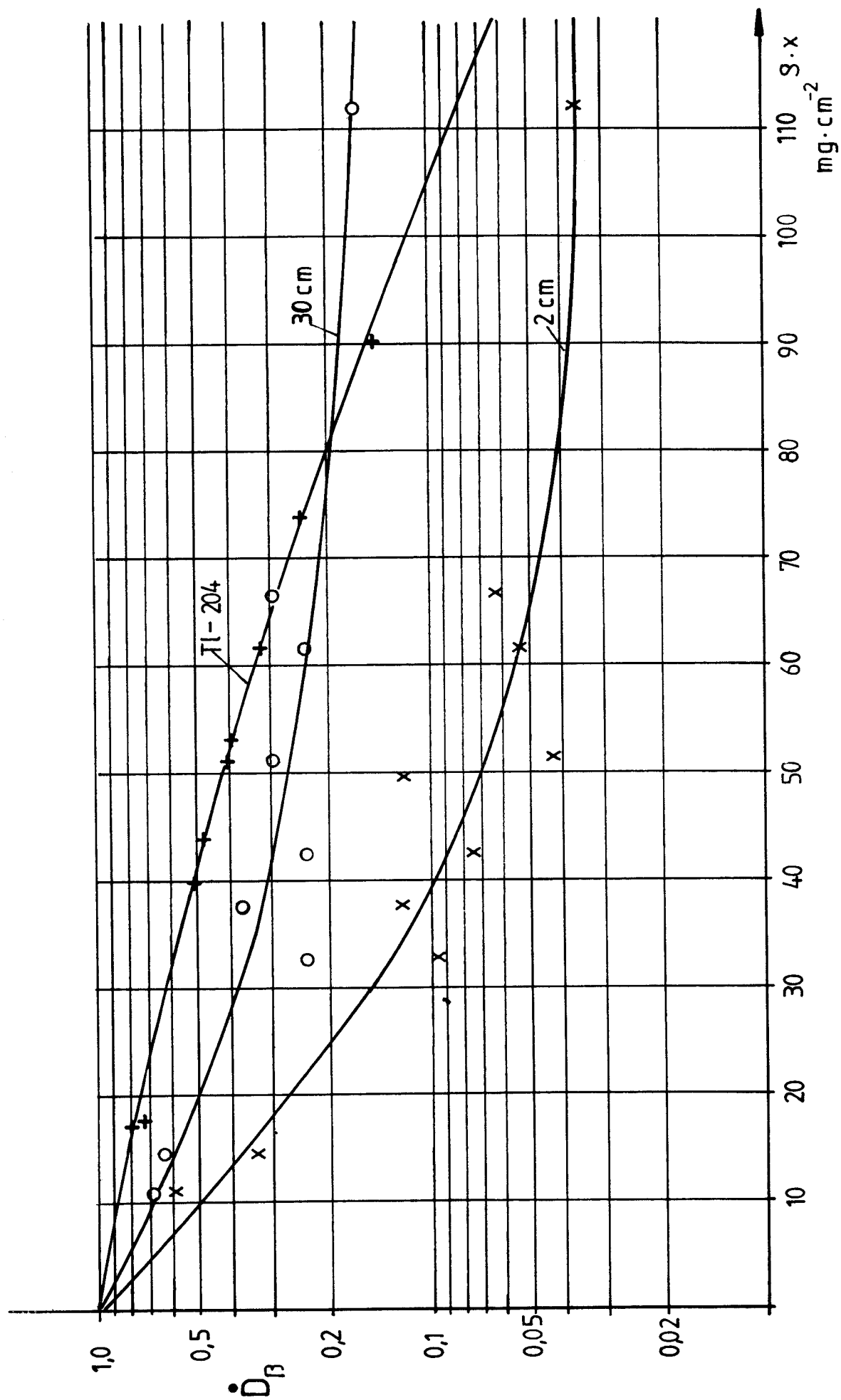


Abb. 10: β -Dosisleistung als Funktion der flächenbezogenen Masse $\rho \cdot x$
 Vergleich der Messungen am Laufrad der Hauptkühlmittelpumpe YD 40
 im Kernkraftwerk Biblis A mit denen einer Tl-204-Quelle des
 Sekundärstandards für β -Strahlung.
 Werte normiert auf 1 für $\rho \cdot x = 0$