

Fachbereich Nukleare Entsorgung und Transport

**Strahlungsmessungen an Transport-
und Lagerbehältern zur Beförderung
von hochaktiven Glaskokillen aus der
Wiederaufarbeitung und von
bestrahlten Brennelementen**

*Frank-Michael Börst
Arndt Rimpler
Helmut Scheib*

BfS-ET-32/00



Fachbereich Nukleare Entsorgung und Transport

**Strahlungsmessungen an Transport-
und Lagerbehältern zur Beförderung
von hochaktiven Glaskokillen aus der
Wiederaufarbeitung und von
bestrahlten Brennelementen**

*Frank-Michael Börst
Arndt Rimpler
Helmut Scheib*

BfS-ET-32/00

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	5
2. Beschreibung der Transport- und Lagerbehälter	6
2.1. Transport- und Lagerbehälter TS 28 V	7
2.2. Transport- und Lagerbehälter CASTOR HAW-20/28-CG	8
2.3. Transport- und Lagerbehälter CASTOR V/19	9
3. Behälterinventare	10
4. Messbedingungen und Messtechnik	11
4.1. Messgeräte für die Messung der Neutronendosisleistung	12
4.2. Messgeräte für die Messung der Gammadosisleistung	14
5. Messergebnisse und Diskussion	15
5.1. Axiale Verteilung der Dosisleistung („Höhenprofil“)	16
5.2. Abstandsabhängigkeit der Dosisleistung	19
5.3. Radiale Verteilung der Dosisleistung („Radialprofil“)	20
5.4. Sonstige Messungen	21
5.5. Spektrometrische Messungen	22
5.6. Vergleich der Messgeräte	27
6. Zusammenfassung	28
Literatur	
Tabellen	
Anlagen	
Anlage 1: Behälterinventare	
Anlage 2: Messprotokolle	

1. Einleitung

Die Aufbewahrungsgenehmigung für das Transportbehälterlager Gorleben /1/ gestattet sowohl die Zwischenlagerung von bestrahlten Brennelementen (BE) in Transport- und Lagerbehältern der Typen CASTOR Ia, Ib, Ic, IIa und V/19 als auch die Aufbewahrung von Kernbrennstoffen in Form von verfestigten hoch-radioaktiven Spaltproduktlösungen (HAW-Glaskokillen) aus der Aufarbeitung bestrahlter Kernbrennstoffe in Transport- und Lagerbehältern des Typs CASTOR HAW-20/28-CG und des Typs TS 28 V.

In Fortführung früherer Untersuchungen an Transportbehältern für die Beförderung von bestrahlten Brennelementen, z.B. /2,3/, wurden nunmehr auch die Strahlungsfelder von mit Glaskokillen beladenen Transport- und Lagerbehältern TS 28 V und CASTOR HAW-20/28-CG im Transportbehälterlager Gorleben sowie eines mit Brennelementen beladenen Transport- und Lagerbehälters CASTOR V/19 im Gemeinschaftskraftwerk Neckar (GKN) untersucht.

Hierbei wurden folgende Ziele in den Vordergrund gestellt:

- Durchführung dosimetrischer Messungen am Behälter (Gamma- und Neutronendosisleistungsverteilung) mit handelsüblichen Messgeräten
- Ermittlung der Neutronenspektren an verschiedenen interessierenden Punkten
- Ermittlung von systematischen Messunsicherheiten von handelsüblichen Messgeräten für die Neutronendosisleistung

Im folgenden werden die Behälter sowie deren Inventare beschrieben und die Messergebnisse vorgestellt.

Eine Analyse dieser Resultate und deren radiologische Bewertung ist nicht Hauptgegenstand dieses Berichtes.

2. Beschreibung der Transport- und Lagerbehälter

Die nachfolgend beschriebenen Transport- und Lagerbehälter dienen im wesentlichen zum Antransport, zur Aufbewahrung in Zwischenlagern und dem Abtransport nach dem Ende der Zwischenlagerung. Allen Behälterbauarten liegen gleiche Schutzziele zugrunde:

- sicherer Einschluss des radioaktiven Inventars,
- ausreichende Abschirmung der vom Inhalt ausgehenden ionisierenden Strahlung,
- Gewährleistung der sicheren Unterkritikalität und
- ausreichende Ableitung der durch den Inhalt erzeugten Wärme.

Sie gleichen sich hinsichtlich des Konstruktionsprinzips in Bezug auf Anordnung und Ausführung der sicherheitstechnisch relevanten Bauteile und Komponenten. Die Behälterbauarten unterscheiden sich voneinander durch an den jeweiligen Verwendungszweck (z.B. Beladung mit Brennelementen, Beladung mit HAW-Glaskokillen) angepasste Behälterbauweisen.

2.1. Transport- und Lagerbehälter TS 28 V

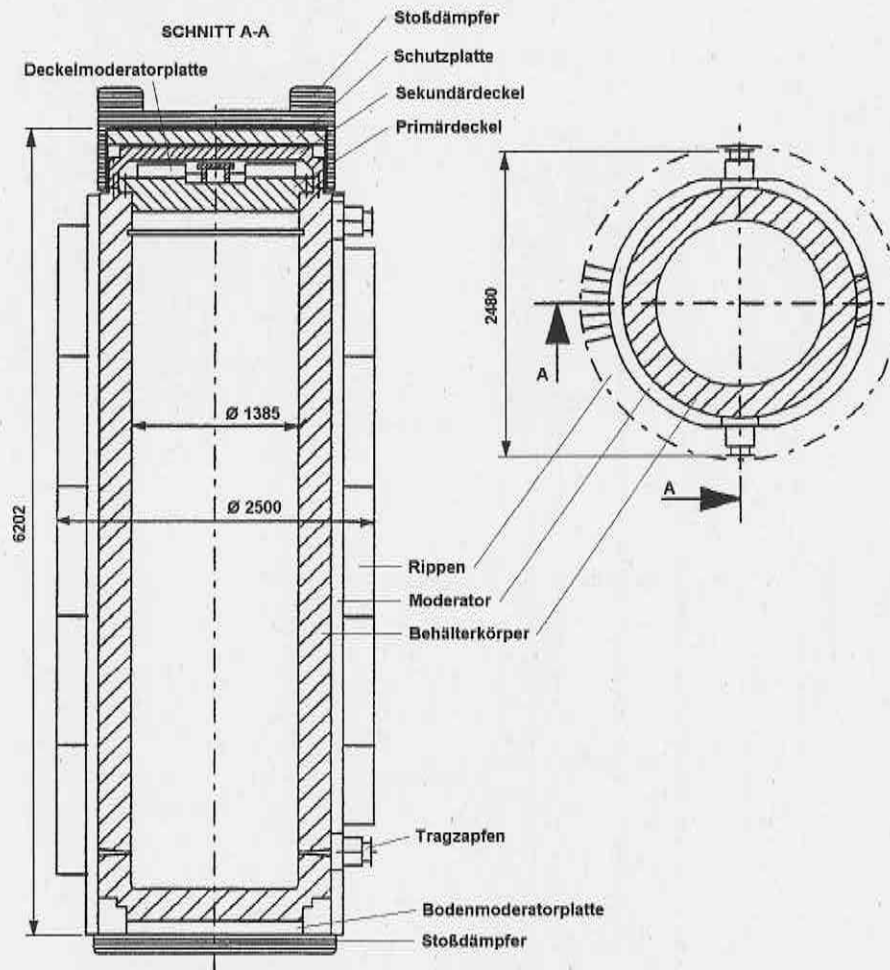


Abbildung 1: Transport- und Lagerbehälter TS 28 V (Transportkonfiguration)

Der TS 28 V (Abbildung 1) besitzt als Grundkörper einen dickwandigen Hohlzylinder mit angeschweißtem Boden aus Schmiedestahl, der durch einen Primärdeckel und einem Sekundärdeckel jeweils aus Schmiedestahl mittels Metaldichtungen dicht verschlossen wird (Doppelbarrieren-System). Der Sekundärdeckel wird im Zwischenlager zum Schutz gegen mechanische Einwirkungen und gegen sonstige Umgebungseinflüsse mit einer Schutzplatte abgedeckt. Im Innenraum des Behälters befindet sich alternativ ein Einsatzkorb für die Aufnahme von 20 oder 28 HAW-Glaskokillen. Zur erforderlichen Neutronenabschirmung ist der Behälterkörper an der Außenseite mit als Moderator wirkenden Blöcken aus Polyethylen und Harz mit Borzusatz versehen, die von einem Stahlmantel umgeben sind. Im Deckel- und Bodenbereich sind Polyethylenplatten entsprechend angeordnet. Zur besseren Wärmeabfuhr ist der Behältermantel mit Aluminiumrippen versehen.

In der Transportkonfiguration ist der Behälter am Deckel und am Boden mit Stoßdämpfern ausgestattet, die vor der Zwischenlagerung entfernt werden. Der Behälter (Höhe 6202 mm, Durchmesser 2500 mm) hat in der Transportkonfiguration, beladen mit 28 HAW-Glaskokillen eine Gesamtmasse von ca. 116 t/4/.

2.2. Transport- und Lagerbehälter CASTOR HAW-20/28-CG

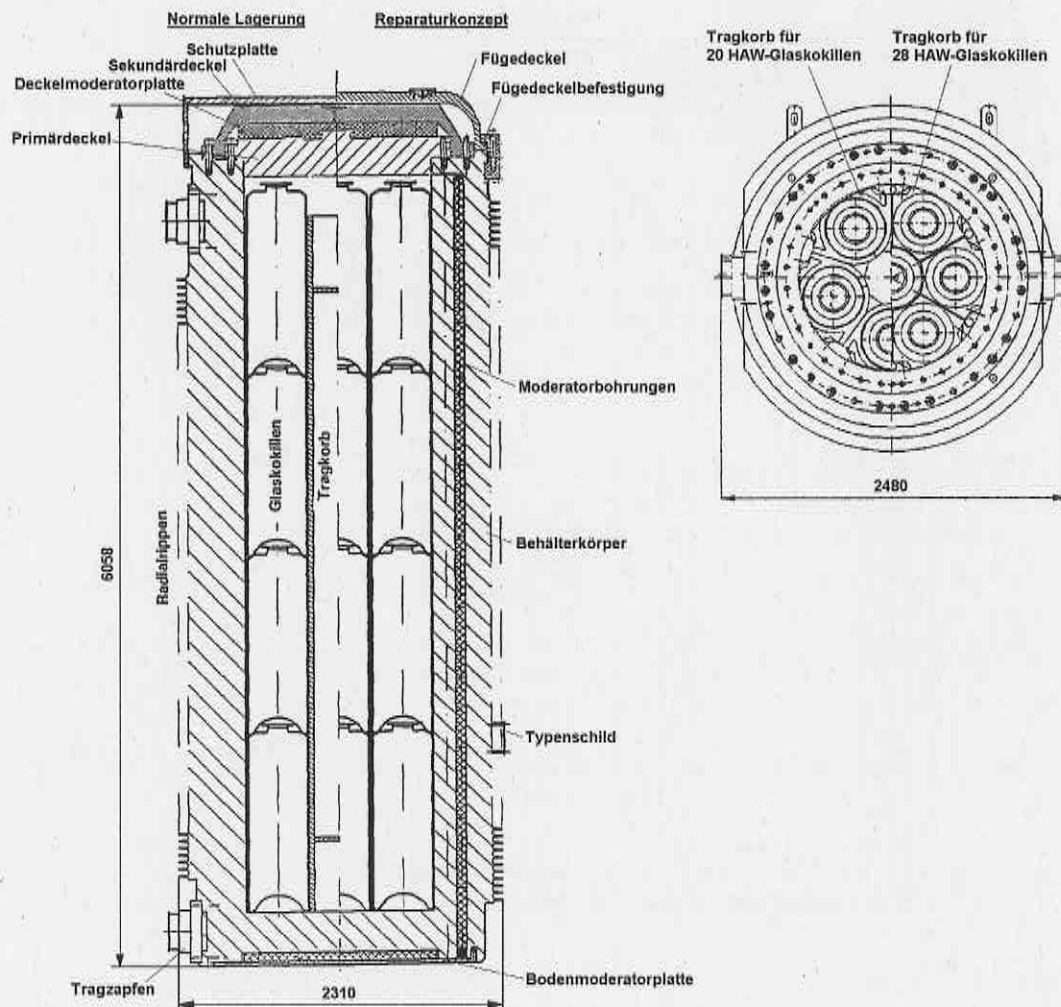


Abbildung 2: Transport- und Lagerbehälter CASTOR HAW-20/28-CG (Lagerkonfiguration)

Der CASTOR HAW-20/28-CG (Abbildung 2) besteht aus einem dickwandigen, zylindrischen Behälterkörper mit Radialrippen, der mit einem Primärdeckel und einem Sekundärdeckel mit der jeweils zugehörigen Verschraubung und Dichtung dicht verschlossen wird. Im Zwischenlager wird der Sekundärdeckel wiederum durch die Schutzplatte abgedeckt. Der Behälterkörper ist aus Gusseisen mit Kugelgraphit GGG 40 gefertigt und die beiden Deckel aus Baustahl oder alternativ Edelstahl. Als Neutronenabschirmung dienen Polyethylen-Stäbe in der Wandung des Behälterkörpers sowie Polyethylen-Platten im Deckel- und Bodenbereich. Im Innenraum befindet sich wie auch beim TS 28 V alternativ ein Einsatzkorb für die Aufnahme von 20 oder 28 HAW-Glaskokillen. In der Transportkonfiguration ist der Behälter am Deckel und am Boden mit Stoßdämpfern ausgestattet, die vor der Zwischenlagerung entfernt werden. Der Behälter (Höhe 6058 mm, Durchmesser 2310 mm) hat in der Transportkonfiguration, beladen mit 28 HAW-Glaskokillen eine Gesamtmasse von ca. 115 t /5/.

2.3. Transport- und Lagerbehälter CASTOR V/19

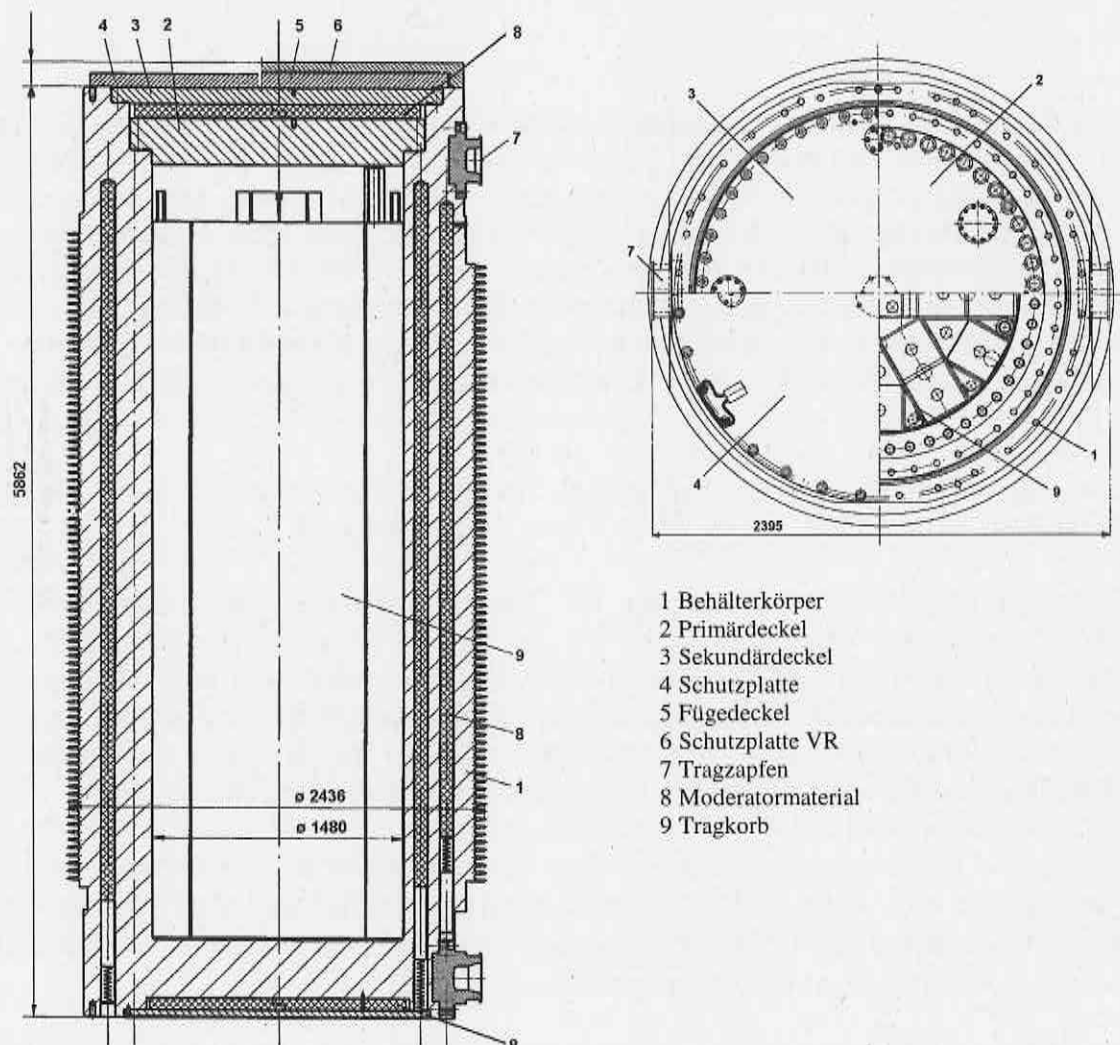


Abbildung 3: Transport- und Lagerbehälter CASTOR V/19 (Lagerkonfiguration)

Der Aufbau des CASTOR V/19 (Abbildung 3) ist dem des CASTOR HAW-20/28-CG sehr ähnlich. Er besteht aus einem dickwandigen, zylindrischen Behälterkörper mit Radialrippen, der mit einem Primärdeckel und einem Sekundärdeckel mit der jeweils zugehörigen Verschraubung und Dichtung dicht verschlossen wird, sowie der während der Zwischenlagerung verwendeten Schutzplatte. Der Behälterkörper ist aus Gusseisen mit Kugelgraphit GGG 40 gefertigt und die beiden Deckel aus Edelstahl. Als Neutronenabschirmung dienen Polyethylen-Stäbe in der Wandung des Behälterkörpers sowie Polyethylen-Platten im Bodenbereich und an der Unterseite des Sekundärdeckels. Im Behälterinnenraum befindet sich ein Tragkorb, der im wesentlichen aus 19 Borstahlschächten zur Aufnahme der Brennelemente und parallel zu den Bohrstahlblechen angeordneten Aluminium-Wärmeleitblechen besteht. Der Transportbehälter ist mit Deckel- und Bodenstoßdämpfern ausgerüstet, die vor der Zwischenlagerung entfernt werden. Der Behälter (Höhe 5862 mm, Durchmesser 2436 mm) hat in der Transportkonfiguration, beladen mit 19 bestrahlten Brennelementen eine Gesamtmasse von ca. 136 t /6/.

3. Behälterinventar

Für die qualitative und quantitative Zusammensetzung des Strahlungsfeldes in der Umgebung von Transport- und Lagerbehältern sind nicht nur die Gesamtaktivität und Neutronenquellstärke des Inventars, sondern auch dessen räumliche Verteilung maßgeblich. Während die HAW-Glaskokillen eine nahezu homogene Quelle darstellen, besitzen Brennelemente aufgrund der Neutronenflussverteilung im Reaktor ein ausgeprägtes Abbrandprofil mit maximalem Abbrand in der BE-Mitte. Dies lässt zwangsläufig eine deutliche axiale Verteilung der Gamma- und Neutronendosisleistung am Behältermantel erwarten. Hinzu kommen Inhomogenitäten infolge von Aktivierungsprodukten (^{60}Co) in den aus Stahl bestehenden Kopf- und Fußstücken der BE.

Das Gammastrahlungsfeld wird jedoch hauptsächlich bestimmt durch die Spaltprodukte $^{137}\text{Cs}/^{137\text{m}}\text{Ba}$, ^{134}Cs , $^{106}\text{Ru}/^{106}\text{Rh}$, $^{144}\text{Ce}/^{144}\text{Pr}$ und ^{154}Eu .

Ursache der Neutronenstrahlung an Transportbehältern sind zum einen die Spontanspaltung des Nuklids ^{244}Cm und zum anderen (α, n)-Reaktionen an Elementen mit niedriger Massenzahl. Bei Brennelementen ist dies der Sauerstoff im UO_2 , insbesondere das Isotop ^{18}O . In HAW-Glaskokillen sind neben Sauerstoff insbesondere 12 bis 15 % Bor enthalten, das die thermische und mechanische Stabilität des Glases verbessert. Gegenüber Sauerstoff besitzt das Isotop ^{10}B , das im natürlichen Bor zu 19,7 % enthalten ist, eine um 2 bis 3 Größenordnungen höhere (α, n)-Neutronenausbeute. Dies bedingt, dass an HAW-Behältern (α, n)-Reaktionen mit etwa 50% zur gesamten Neutronenemission beitragen. Für hochabgebrannte BE ($\geq 30 \text{ GWd/t}_{\text{SM}}$) und Abklingzeiten ≥ 2 Jahre ist der Beitrag von (α, n)-Reaktionen wesentlich geringer (5 %...10 %) [2,7].

Die beiden eingelagerten Behälter für HAW-Glaskokillen TS 28 V und CASTOR HAW-20/28-CG sind jeweils mit 28 Kokillen aus der Wiederaufarbeitung beladen. Im CASTOR V/19 befinden sich 19 bestrahlte Brennelemente aus dem Gemeinschaftskraftwerk Neckar.

In der Anlage 1 sind die relevanten Daten für die einzelnen Behälter angegeben.

4. Messbedingungen und Messtechnik

Die Messungen an den Behältern TS 28 V und CASTOR HAW-20/28-CG erfolgten im Transportbehälterlager Gorleben. Die Behälter befanden sich dabei in der sog. Lagerkonfiguration. Die Messungen am CASTOR V/19 wurden im Gemeinschaftskraftwerk Neckar am im Transportgestell liegenden Behälter ohne montierte Stoßdämpfer durchgeführt.

Die Lage der Messpunkte für die spektrometrischen Messungen sowie für den Vergleich mit den kommerziellen Neutronenmonitoren wurden so gewählt, dass sie den bereits am CASTOR IIa /3/ genutzten Messpunkte im wesentlichen entsprechen und sind in Abbildung 4 schematisch dargestellt.

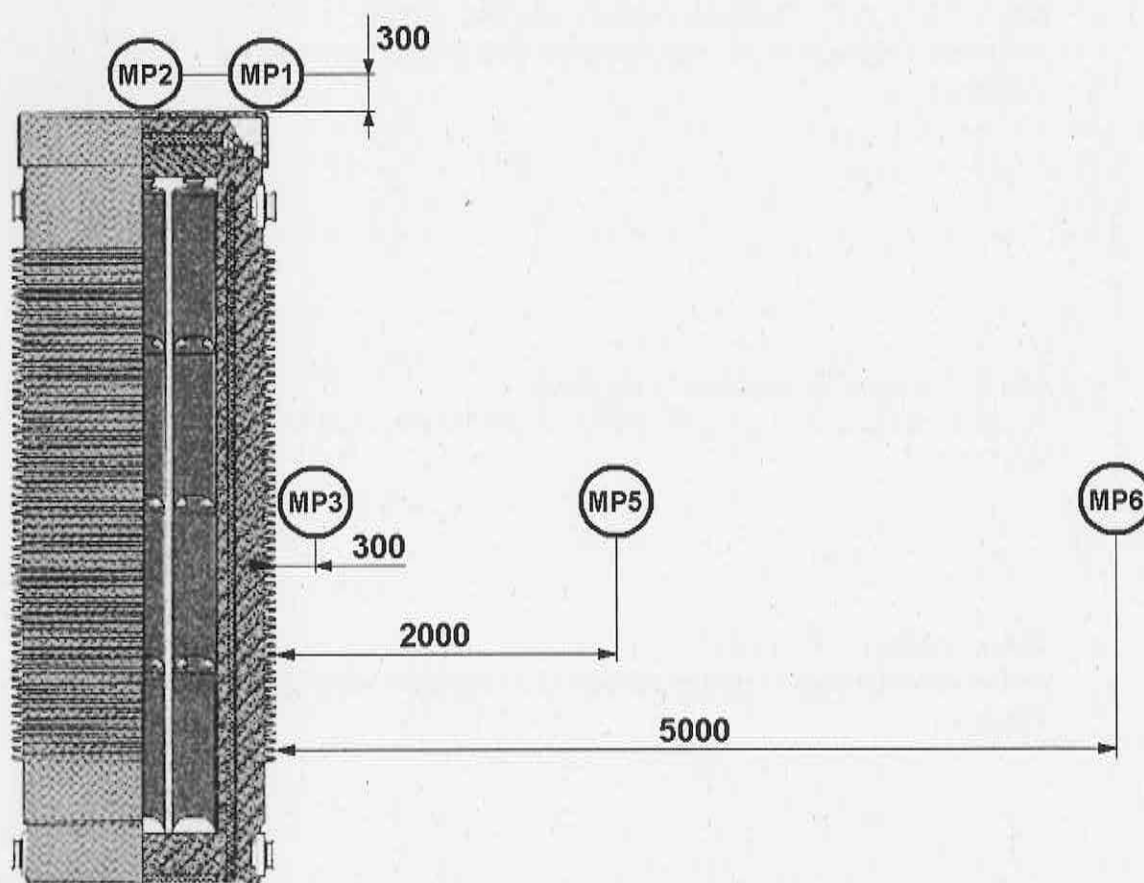


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Messpunkte

4.1. Messgeräte für die Messung der Neutronendosisleistung

Für die Vergleichsmessungen an den o.g. Punkten kamen folgende kommerzielle Neutronenmonitore zum Einsatz:

- **LB 6411**, EG&G/Berthold (D)
Kugelmoderator mit ^3He /Methan-Zählrohr



- **NG 2 ('Snoopy')**, Nuclear Technology Inc. (USA)
Andersson-Braun-Typ, zylindrischer Moderator und BF_3 -Zählrohr



- **NM 2**, Nuclear Enterprises Ltd. (GB)
Andersson-Braun-Typ, zylindrischer Moderator und BF_3 -Zählrohr



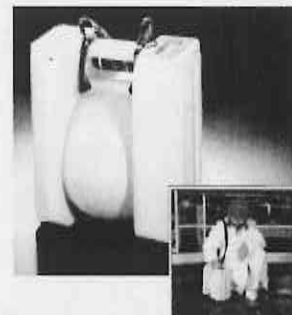
- **Alnor 2202D**, Alnor (SF)
Andersson-Braun-Typ, zylindrischer Moderator und BF_3 -Zählrohr



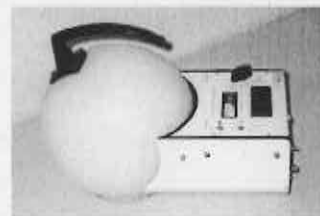
- **FHT 750 ('Biorem')**, Eberline Instruments (D)
Andersson-Braun-Typ, zylindrischer Moderator und BF_3 -Zählrohr



- **N 91**, Harwell Instruments (GB)
Leake-Typ, sphärischer Moderator und ^3He -Zählrohr



- **0949**, Harwell Instruments (GB)
Leake-Typ, sphärischer Moderator und ^3He -Zählrohr



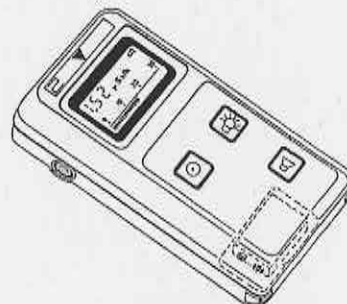
Die Monitore sind mit Ausnahme der verwendeten LB 6411 und des FHT 750 vom Hersteller für die Messgröße 'maximale Äquivalentdosis' H_{Made} nach ICRP 21 /8/ und für ^{241}Am -Be-Neutronen mit einer mittleren Energie von 4,5 MeV kalibriert. Die Geräte LB 6411 wurden vom Hersteller bereits für die neue Größe 'Umgebungsäquivalentdosis' $H^*(10)$ nach ICRP 60 /9/ kalibriert. Eines der Geräte (LB 6411 des BfS) wurde für Am-Be, das zweite (LB 6411 der BLG) für ^{252}Cf -Spaltneutronen kalibriert. Die Kalibrierung des Biorem FHT 750 wurde vom Hersteller ebenfalls für die 'Umgebungsäquivalentdosis' $H^*(10)$ an ^{252}Cf durchgeführt. Die Größen $H^*(10)$ und H_{Made} unterscheiden sich für das Am-Be-Spektrum nur um 5 % /10/. Die Monitore des BfS wurden außerdem im Am-Be Standardfeld der PTB kalibriert. Dabei ergaben sich gegenüber der Herstellerkalibrierung Abweichungen von kleiner 3 % für die Monitore LB 6411 und NG 2, jedoch 23 % für das Harwell N 91 und 53 % für das Harwell 0949 /11-14/.

Für die Referenzmessungen zur Bestimmung von Neutronenspektren und Äquivalentdosisleistungen (spektrometrische Messungen) wurde wie bereits bei früheren Messungen das Mehrkugelspektrometer des BfS (Bonner-Spektrometer /15/) genutzt. Es besteht aus einem sphärischen ^3He -Proportionalzählrohr (Typ SP 90, Centronic, UK), 5 Polyethylen-Moderatorkugeln (Durchmesser 7,8 cm bis 30,5 cm, Dichte 0,95 g/cm³) und einem tragbaren Vielkanalanalysator (Typ Canberra S10) mit externem Vorverstärker. Zum spektralen Fluenz-Ansprechvermögen sowie zu Anschlusskalibrierungen in ^{252}Cf - und ^{241}Am -Be Referenzneutronenfeldern wird auf Seite 28 in /3/ verwiesen. Die gesuchten Neutronenspektren lassen sich unter Zuhilfenahme zusätzlicher a priori Spektren mit einem iterativen Entfaltungsverfahren auf der Grundlage des SAND II Codes /16/ näherungsweise bestimmen. Die daraus berechnete Neutronenfluenz sowie Neutronendosisleistung hat mit einer maximalen Abweichung von $\pm 5\%$ bzw. $\pm 15\%$ eine ausreichende Genauigkeit für die Zwecke des Strahlenschutzes. Weitere Ausführungen zum Bonner-Spektrometer sowie eine ausführliche Beschreibung des Entfaltungsverfahrens sind in /2/ enthalten.

4.2. Messgeräte für die Messung der Gammadosisleistung

Die Gammadosisleistungen wurden mit nachfolgend aufgeführten geeichten Ortsdosimeter gemessen:

- **FH 40 F2**, FAG Kugelfischer (D)
Geiger-Müller-Zählrohr



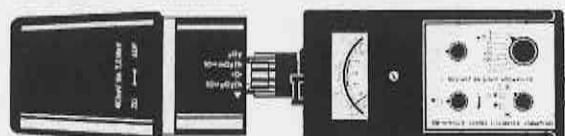
- **AD 5**, Fa. Automess (D)
Geiger-Müller-Zählrohr



- **Szintomat 6134 A**, Fa. Automess (D)
Szintillator



- **RGD 27040**, Fa. RFT Meßelektronik Dresden (DDR)
Ionisationskammer



Mit Ausnahme des RGD 27040 ist die Messunsicherheit für diese Geräte - für ^{137}Cs und einer Dosisleistung $\geq 10 \mu\text{Sv/h}$ - mit maximal $\pm 20 \%$ angegeben. Für das RGD 27040 gab der Hersteller eine Messunsicherheit von $\pm 15 \%$ an.

5. Messergebnisse und Diskussion

Mit den in Kapitel 4 aufgeführten Messgeräten wurden zahlreiche Messungen durchgeführt (vgl. Anlage 2). Dabei wurde an allen drei Behältern die axiale Verteilung der Gamma- und Neutronendosisleistung gemessen. An den beiden mit Glaskokillen beladenen Behältern (TS 28 V und CASTOR HAW-20/28-CG) konnten außerdem Messungen zur Ermittlung der Abstandsabhängigkeit der Dosisleistung durchgeführt werden. Zusätzlich wurde am CASTOR HAW-20/28-CG die radiale Verteilung der Dosisleistung aufgenommen. Die Messungen im TBL Gorleben wurden am Stellplatz des jeweiligen Behälters durchgeführt. Die Messungen an den beiden Kokillen-Behältern wurden jeweils kurz nach der Einlagerung, die Messungen am CASTOR V/19 kurz vor dem Verbringen in das TBL Gorleben vorgenommen.

Eine zu berücksichtigende Untergrundstrahlung wurde sowohl im TBL Gorleben als auch im GKN nicht festgestellt.

Die Ergebnisse der Messungen mit den beiden (gewählten) Bezugsmessgeräten¹, d.h. mit dem Neutronenmonitor N 91 und dem Gammadodosimeter FH 40, sind in den Abbildungen 5 bis 10 dargestellt. In diesen Abbildungen wurde zugunsten der Übersichtlichkeit auf die Angabe von Fehlertoleranzen verzichtet. Sie können dem Kapitel 4 und der Anlage 2 entnommen werden.

In den ausführlichen Protokollen der einzelnen Messungen und deren Auswertung (Anlage 2 und Tab. 1 bis 5) sind weitere Messwerte enthalten. Diese dienen zum einen dem Vergleich der einzelnen Messgeräte untereinander und spiegeln zum anderen die Messungen an konstruktiv bedingten und allgemein bekannten Orten erhöhter Dosisleistung wieder. Die entsprechend vorhandener Kalibrierung korrigierten Messwerte können den Tabellen 1 bis 5 entnommen werden.

Soweit es der Messaufbau zuließ, wurden die Behälteroberflächen mit den handelsüblichen Dosimetern „abgescannt“, um weitere Orte mit erhöhten Dosisleistungen zu erfassen. Solche Orte konnten jedoch nicht lokalisiert werden.

Eine erste Bewertung der gemessenen Dosisleistungen wurde in /17/ vorgenommen.

¹ Mit den Bezugsmessgeräten wurden die Messungen der Dosisleistungsverteilungen (Höhenprofil, Abstandsmessungen und Radialprofil) sowie der Dosisleistung an nahezu allen Vergleichsmesspunkten durchgeführt.

5.1. Axiale Verteilung der Dosisleistung („Höhenprofil“)

In Abb. 5 ist die axiale Verteilung² der Gamma- und Neutronendosisleistung am Behälter TS 28 V dargestellt.

Das gemessene Profil steht im Einklang mit den Lagen und Quellstärken der Glaskokillen im Behälter. Die gemessenen und auf die Kalibrierung korrigierten Dosisleistungen liegen weit unter den zulässigen Werten aus den Technischen Annahmebedingungen der Aufbewahrungsgenehmigung und den verkehrsrechtlichen Vorschriften.

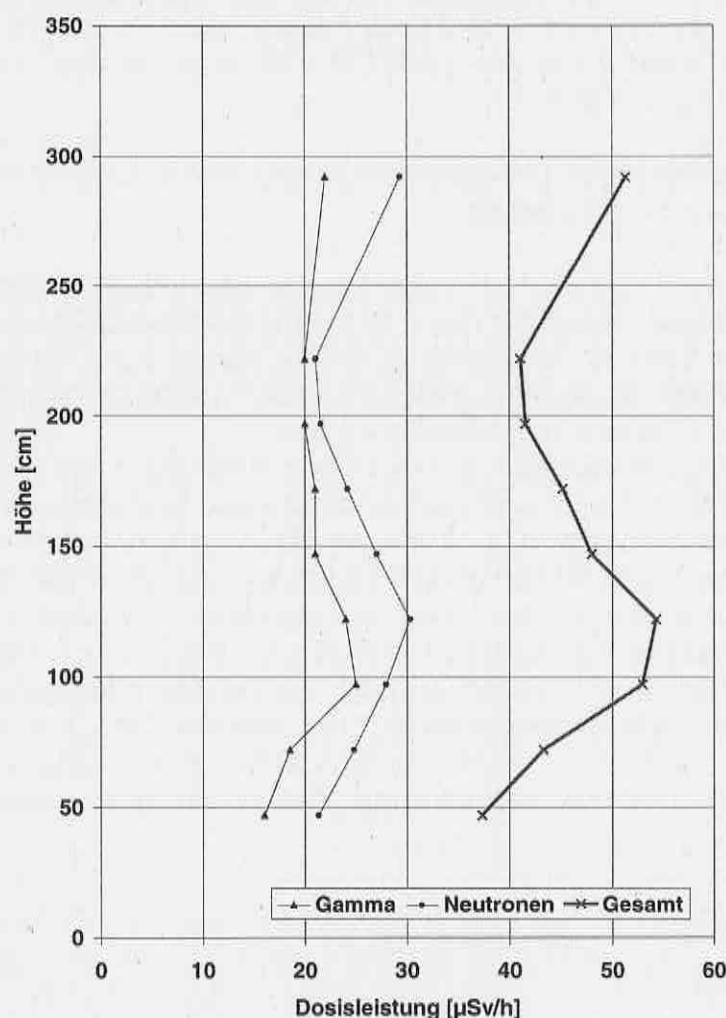


Abbildung 5: TS 28 V - Höhenprofil

² Zum Zeitpunkt der Messungen im TBL Gorleben stand keine Vorrichtung zur Verfügung, um ohne Unfallgefahren (Standssicherheit der Bühne und Leiter!) in größerer Höhe Messungen vornehmen zu können. Aus den Messungen bei der Annahme des Behälters im Wartungsbereich des TBL Gorleben war bekannt, dass auch im Kopfbereich des Behälters keine höheren Dosisleistungswerte festgestellt wurden. Daher wurde auf unsichere Hilfskonstruktionen zum Messen verzichtet und das Höhenprofil nur bis zur halben Höhe aufgenommen.

Abb. 6 zeigt die axiale Verteilung der Dosisleistung am Behälter CASTOR HAW-20/28-CG². Auch hier steht das Profil im Einklang mit den Daten der sich im Behälter befindenden Kokillen. Die Ursache für den Anstieg der Gammadosisleistung im unteren Bereich des Behälters liegt, wie in Abbildung 2 erkennbar, offensichtlich an der konstruktiv bedingten Verminderung der Behälterwanddicke in diesem Bereich. Die korrigierten Dosisleistungen liegen deutlich unter den zulässigen Werten.

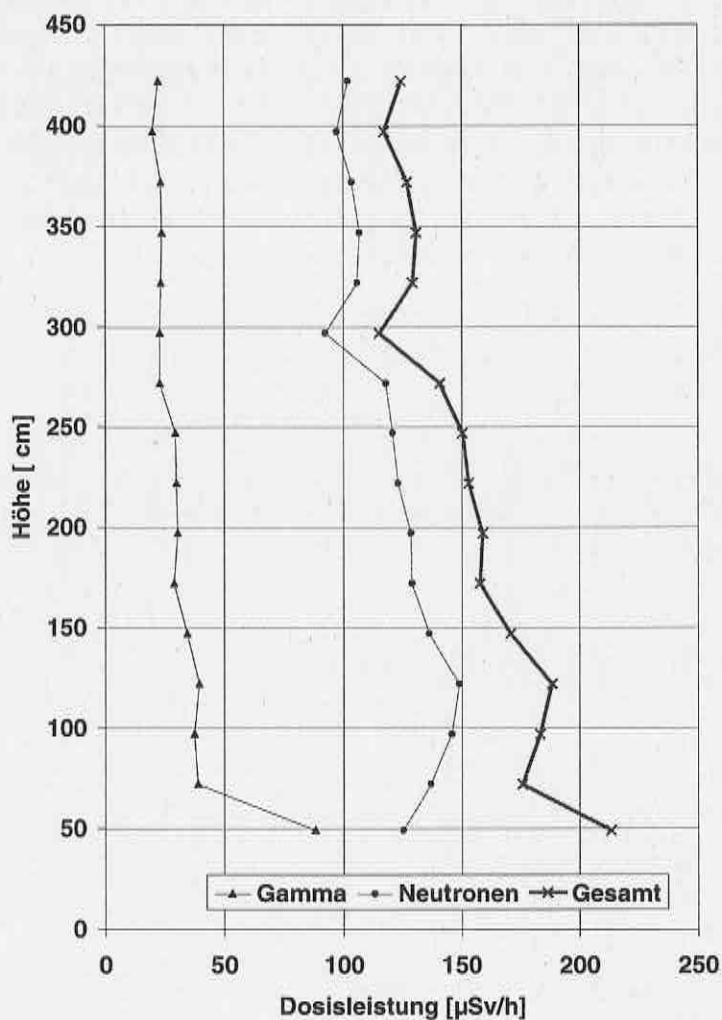


Abbildung 6: CASTOR HAW-20/28-CG - Höhenprofil

Abb. 7 zeigt die axiale Verteilung der Dosisleistung am Behälter CASTOR V/19. Da der Behälter längs auf dem Transportgestell lag, war hier ein vollständiges Höhenprofil erhaltbar. Auch wenn dieses Profil gleich schwach ausprägt ist wie bei den beiden anderen Behältern, ist das typische Abbrandverhalten von bestrahlten Brennelementen und damit verbunden die Dosisleistungsverteilung erkennbar. Zwei Messpunkte, der Messpunkt (30 cm Abstand von der Behälteroberfläche) bei der Höhe 493 cm und bei der Höhe 93 cm, zeigen zum Teil deutliche Überhöhungen der Gammadosisleistung um bis zum Faktor 4 gegenüber den anderen Messwerten in diesem Bereich. Wie aus den letzten beiden Tabellen des Messprotokolls zum CASTOR V/19 in Anlage 2 ersichtlich (Messungen direkt auf der Oberfläche), ist diese Überhöhung lokal sehr begrenzt und erreicht bereits wenige Zentimeter außerhalb dieses Bereichs die erwarteten Dosisleistungswerte. Wesentliche Ursache für die Überhöhung ist eine Nut im Behälterkörper, die zur Befestigung des Behälters auf dem Transportgestell erforderlich ist. Trotz dieser lokalen Überhöhungen liegen alle gemessenen Dosisleistungswerte auch bei diesem Behälter deutlich unter den zulässigen Werten.

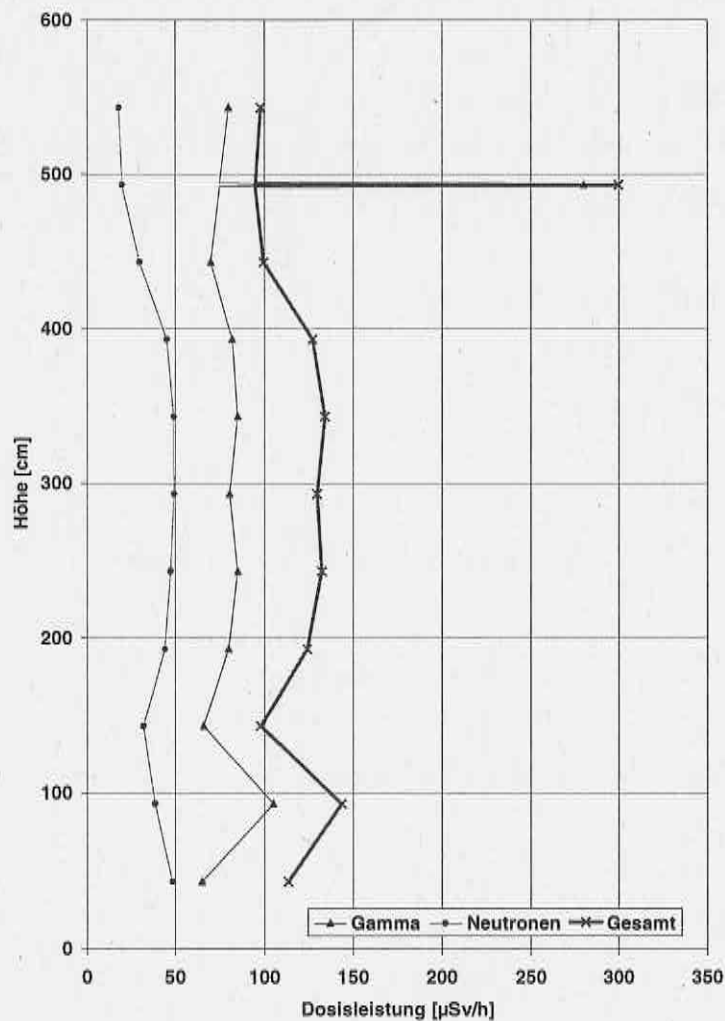


Abbildung 7: CASTOR V/19 - Höhenprofil

5.2. Abstandsabhängigkeit der Dosisleistung

In den Abb. 8 und 9 ist die Abstandsabhängigkeit der Dosisleistung dargestellt, wie sie an den beiden Behältern TS 28 V und CASTOR HAW 20/28 gemessen wurde.

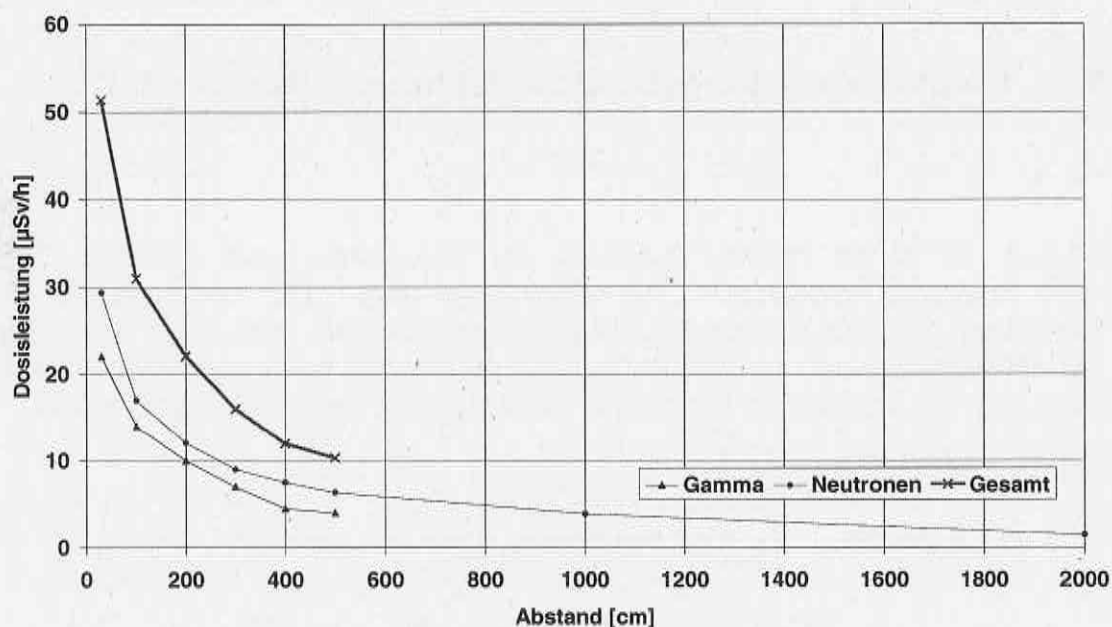


Abbildung 8: TS 28 V - Abstandsmessungen

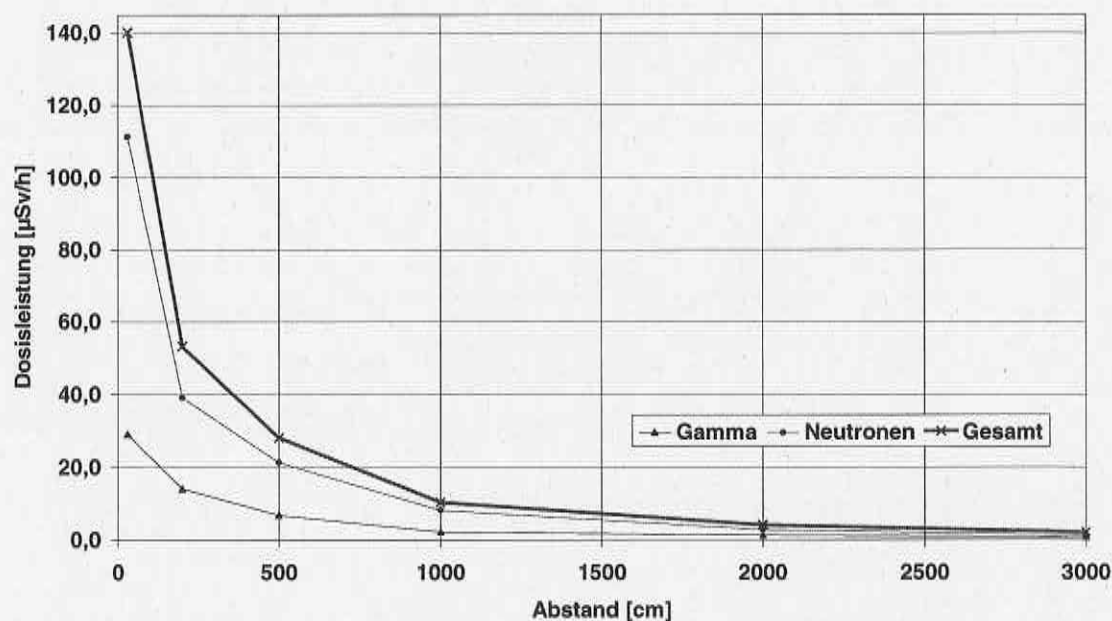


Abbildung 9: CASTOR HAW-20/28-CG - Abstandsmessungen

Da die Gammadosisleistung am TS 28 V deutlich geringer war als beim CASTOR HAW-20/28-CG, konnten nur die Werte der Neutronendosisleistung für Abstände größer 500 cm für beide Behälter ermittelt werden. Die Messwerte bei einem Abstand von 500 cm liegen bei etwa einem Fünftel der Dosisleistung an der Behälteroberfläche. Bei einem Abstand von 2000 cm sind sie ungefähr bei einem Dreißigstel der Dosisleistung an der Behälteroberfläche.

5. 3. Radiale Verteilung der Dosisleistung („Radialprofil“)

In Abb. 10 ist die radiale Verteilung der Dosisleistung am Behälter CASTOR HAW-20/28-CG dargestellt. Die Abbildung zeigt eine leicht asymmetrische Verteilung der Dosisleistung rund um den Behälter. Dies lässt sich aus den Quellstärken der sich im Behälter befindenden Kokillen erklären. Insgesamt liegen auch hier alle korrigierten Messwerte deutlich unter den zulässigen Werten.

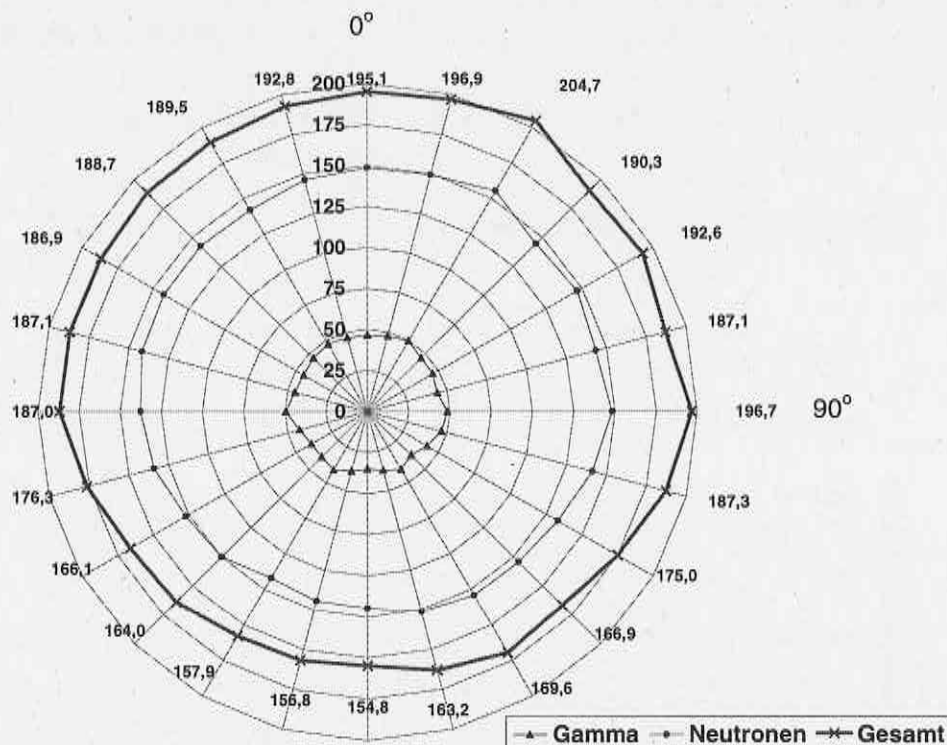


Abbildung 10: CASTOR HAW-20/28-CG - Radialprofil

5.4. Sonstige Messungen

Ein weiteres Ziel bei den Messungen bestand darin, konstruktiv bedingte Orte mit gegenüber dem sonstigen Behälterkörper verminderter Gamma- bzw. Neutronenabschirmung zu untersuchen. Diese beschränken sich im allgemeinen auf die Tragzapfenbereiche und die „Eck“-bereiche, d.h. die Übergangsbereiche Mantel-Deckel und Mantel-Boden. Sofern andere Bereiche erhöhter Strahlung aufgefunden wurden, sind diese Bereiche messtechnisch erfasst worden.

Die Messwerte können der Anlage 2 entnommen werden, hier eine kurze Zusammenfassung der Erkenntnisse, wobei alle nachstehend genannten Messwerte mit dem Harwell N91 (Neutronendosisleistung) und dem FH 40 F2 (Gammadosisleistung) ermittelt wurden:

TS 28 V:

- Am und neben dem Tragzapfen wurden Neutronendosisleistungen von 119 ... 135 $\mu\text{Sv/h}$ gemessen. Verglichen mit dem Wert am Messpunkt MP3 (29 $\mu\text{Sv/h}$) ergibt das einen Faktor von 4,1 bis 4,7.
- Am Messpunkt MP1 wurden 702 $\mu\text{Sv/h}$ (Neutronendosisleistung) gemessen. Verglichen mit dem Messwert am Punkt MP3 errechnet sich daraus ein Faktor von 24,2.
- Im Wartungsraum sind Arbeiten im Deckelbereich erforderlich: Aus diesem Grunde wurde am Deckelrand (radial: 30 cm außerhalb vom Deckelrand, axial 40 cm über dem Deckel) die Dosisleistung gemessen. Es ergab sich ein Neutronendosisleistungswert von 218 $\mu\text{Sv/h}$, d.h. bezogen auf MP3 einen Faktor von 7,5.

Diese doch deutlichen Erhöhungen sind insbesondere durch die konstruktionsbedingte Anordnung des Neutronenmoderormaterials begründet. Während am Tragzapfen nur der Flanschbereich moderormaterialfrei ist, ist im Übergangsbereich zwischen Mantel und Deckel wegen des dort nicht vorhandenen und im Mantelbereich außen angeordneten Neutronenmoderators ein deutlich ausgeprägteres Neutronenfenster zu finden.

CASTOR HAW-20/28-CG:

Bedingt durch eine andere Anordnung insbesondere der Neutronenabschirmung wurden am CASTOR HAW-20/28-CG nicht derartige Überhöhungen wie am TS 28 V gemessen. Die größte „Überhöhung“ weist der Messpunkt MP1 auf. Dort wurde für die Neutronendosisleistung ein Wert von 146 $\mu\text{Sv/h}$ gemessen. Bezogen auf MP3 (111 $\mu\text{Sv/h}$) errechnet sich daraus ein Faktor von 1,3.

CASTOR V/19:

Am Behälter CASTOR V/19 wurden keine Bereiche erhöhter Neutronendosisleistung gefunden. Orte erhöhter Gammadosisleistungen wurden bereits unter Kapitel 5.1. beschrieben.

5.5 Spektrometrische Messungen

Neben dem umfangreichen Programm zur Ermittlung von Gamma- und Neutronendosisleistung mit Routinemessgeräten wurden mit dem *Bonner-Kugel* Messsystem des BfS (vgl. Punkt 4) Neutronenspektren an den Behältern bestimmt. Wegen der längeren Messzeiten - für jedes Spektrum sind nacheinander Einzelmessungen mit sechs Detektor/Moderator-Kombinationen erforderlich - beschränkten sich diese Untersuchungen auf ausgewählte, aus Sicht des Strahlenschutzes relevante Messpunkte (Abb. 4). Von besonderem Interesse war die Frage, welchen Einfluss die Art des Inventars (Brennelemente, Glaskokillen), die konstruktiven Besonderheiten des jeweiligen Behältertyps sowie der Messort auf das Neutronenspektrum haben.

Als Spektrum wird die spektrale Neutronenfluenz $\Phi_E(E)$ oder die Fluenzrate (Flussdichte) $\varphi_E(E)$ bezeichnet. Üblicherweise wird für deren Darstellung das Produkt $E \cdot \Phi_E$ linear über der logarithmisch geteilten Energieachse aufgetragen. Dies heißt, dass gleiche Flächen unter der Kurve gleiche Anteile an der Gesamtfluenz bedeuten ("flächentreue Darstellung"). Zum Zwecke besserer Vergleichbarkeit sind die entfalteten Spektren normiert auf den gleichen Wert der Fluenz im Bereich ihres Maximums dargestellt.

Die Abbildungen 11 bis 13 zeigen die am CASTOR V/19 sowie an den beiden Kokillen-Behältern CASTOR HAW-20/28-CG und TS 28 V ermittelten Spektren.

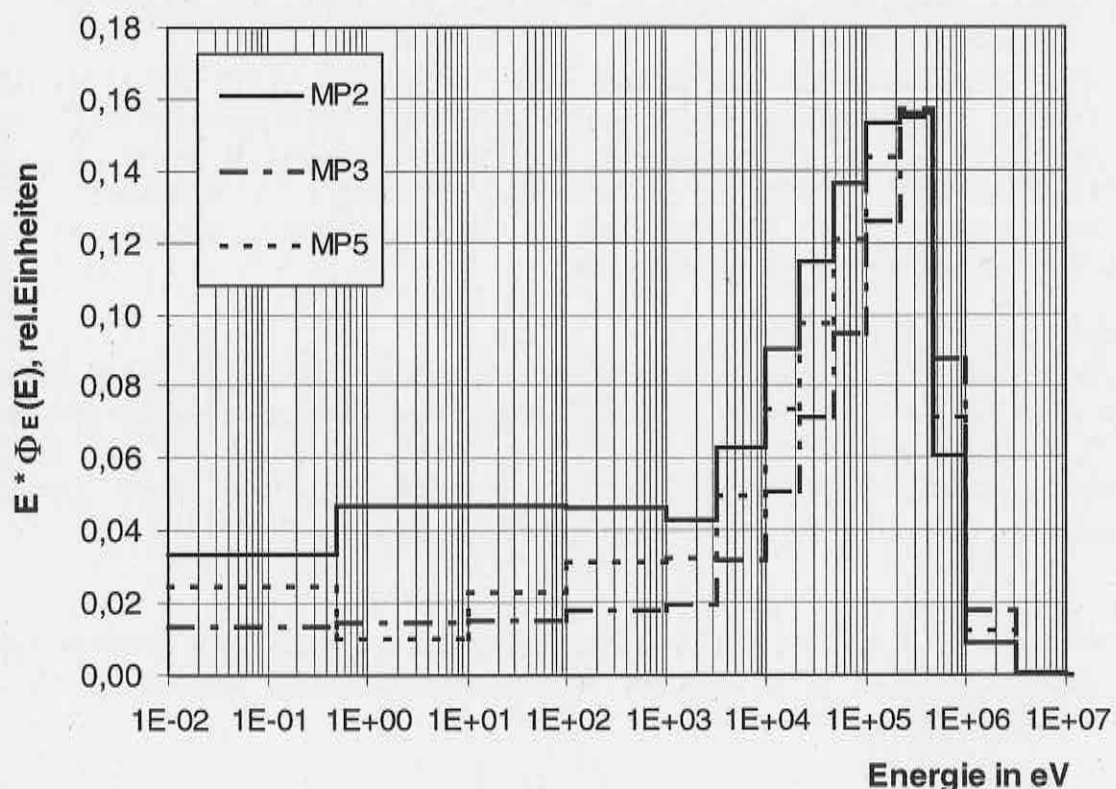


Abbildung 11: Neutronenspektren am CASTOR V/19

Am CASTOR HAW-20/28-CG, dem Behälter mit den größten Dosisleistungen, wurden Messungen bis zu 5 m Abstand von der Oberfläche (MP6) durchgeführt. Ein Vergleich der spektralen Fluenz an den Positionen MP3, MP5 und MP6 zeigt eine leichte Zunahme des Anteiles thermischer und intermediärer Neutronen mit der Entfernung, bedingt durch Neutronenstreuungsprozesse, insbesondere am Betonboden der Lagerhalle. Zwischen den oberflächennahen Messpunkten im Deckelbereich (MP1 und MP2) und an der Seite (MP3) bestehen dagegen kaum messbare Unterschiede.

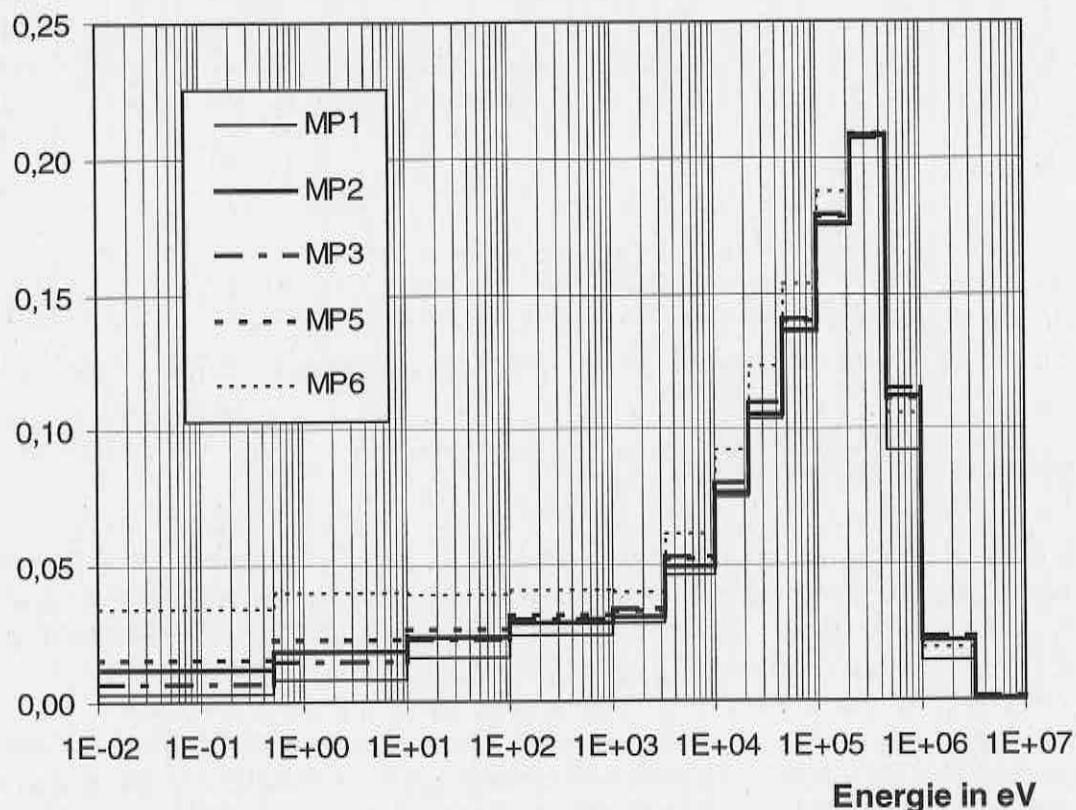


Abbildung 12: Neutronenspektren am CASTOR HAW-20/28-CG

Anders ist die Situation am gleichfalls mit Kokillen beladenen TS 28 V. Hier besteht eine deutlich sichtbare Abweichung zwischen den Spektren in der Mitte des Deckel (MP2) und am Außenmantel (MP3), sowohl die Lage des Fluenzmaximums als auch den Anteil intermediärer Neutronen betreffend. Dies ist durch die konstruktiven Besonderheiten beim TS 28 V im Vergleich zu Behältern der CASTOR-Baureihe bedingt (vgl. Abb. 1 bis 3). Letztere besitzen in den Eisenmantel eingelassene Neutronen-Absorberstäbe bzw. Absorberplatten zwischen Primär- und Sekundärdeckel, d.h. eine annähernd gleichartige Abschirmkonfiguration. Der TS 28 V ist im Deckelbereich ähnlich aufgebaut wie die CASTOREn, den Mantelbereich bedeckt dagegen eine außenliegende Neutronenabschirmung. Dies wird noch deutlicher, wenn man die Spektren an identischen Messpunkten der beiden Behälter für Glaskokillen miteinander vergleicht (Abb. 14).

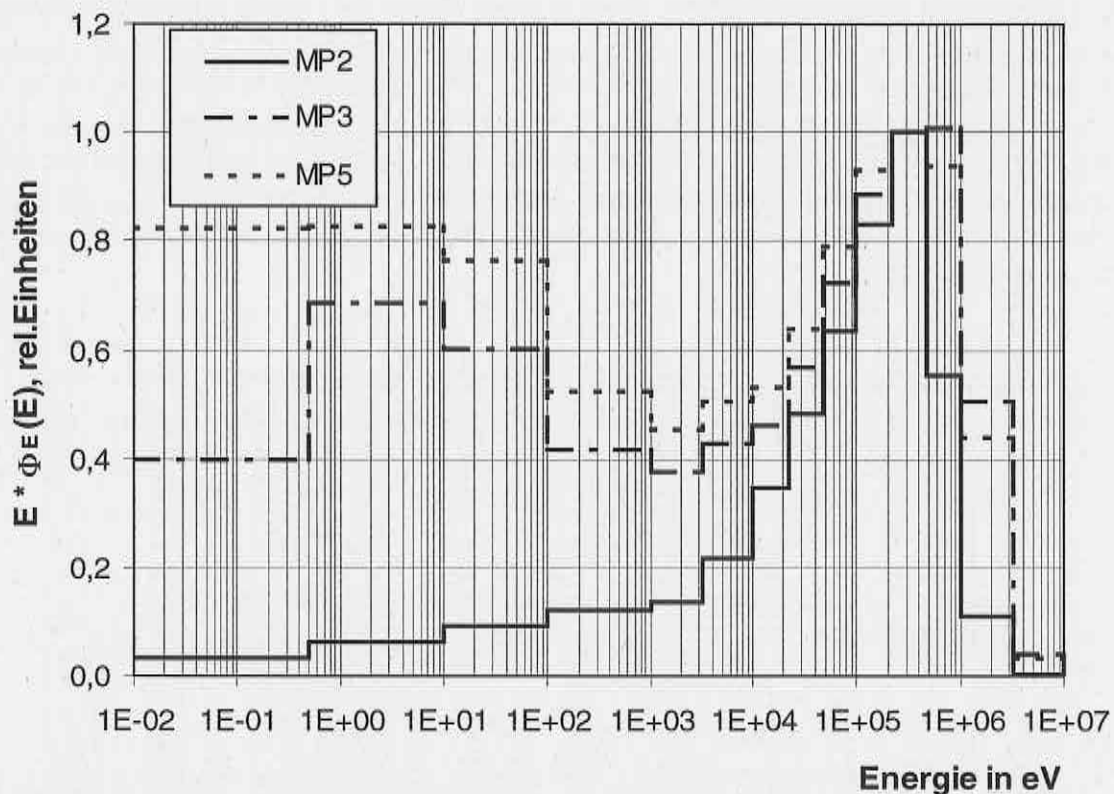


Abbildung 13: Neutronenspektren am TS 28 V

Auffällige Befunde ergeben sich auch bei der Betrachtung von Spektren an Behältern, die zwar sehr ähnlich aufgebaut sind aber unterschiedliches Inventar, Brennelemente bzw. Glaskokillen enthalten. Am Beispiel der Messpunkte MP2 und MP3 am CASTOR V/19 und CASTOR HAW-20/28-CG wird dies deutlich (Abb. 15). An der Oberfläche des Mantels (MP3) stimmen die an beiden Behältern ermittelten Spektren im Rahmen der Messunsicherheit überein, während am Deckel des CASTOR V/19 mehr niederenergetische Neutronen gefunden wurden (Abb. 11). Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Glaskokillen eine nahezu homogene Neutronenquelle darstellen. Durch die charakteristische Abbrandverteilung von Brennelementen findet eine Selbstabschirmung der Neutronen in den Brennelementen und in deren Kopfstücken statt.

Das *Bonner-Kugel* Spektrometer diente auch als Messsystem zur Bestimmung von Referenzwerten für die Neutronendosisleistung $\dot{H}$. Diese ergibt sich aus der spektralen Flussdichte $\varphi_E(E)$ durch numerische Integration über die n Energieintervalle gemäß:

$$\dot{H} = \sum_{i=1}^n h_{\Phi}(E_i) \cdot \varphi_E(E_i) \cdot \Delta E_i$$

Dabei sind $h_{\Phi}(E_i)$ die mittleren Fluenz-Äquivalentdosis-Konversionsfaktoren im i -ten Energieintervall für die Umgebungsäquivalentdosis $H^*(10)$ nach /18/ bzw. für die maximale Äquivalentdosis H_{Made} nach /8/.

Die so erhaltenen Werte an den untersuchten Behältern und Messpunkten sind in Tab. 6 zusammengefasst und um repräsentative Werte für die Gammadosisleistung ergänzt. Die daraus errechnete Gesamtdosisleistung und der prozentuale

Anteil der Neutronen sind zusätzlich angegeben. Als Bezugswert für die Gamma-dosisleistung wurde die Anzeige des Gerätes FH 40 F2 (bzw. AD5) verwendet (siehe Anlage 2).

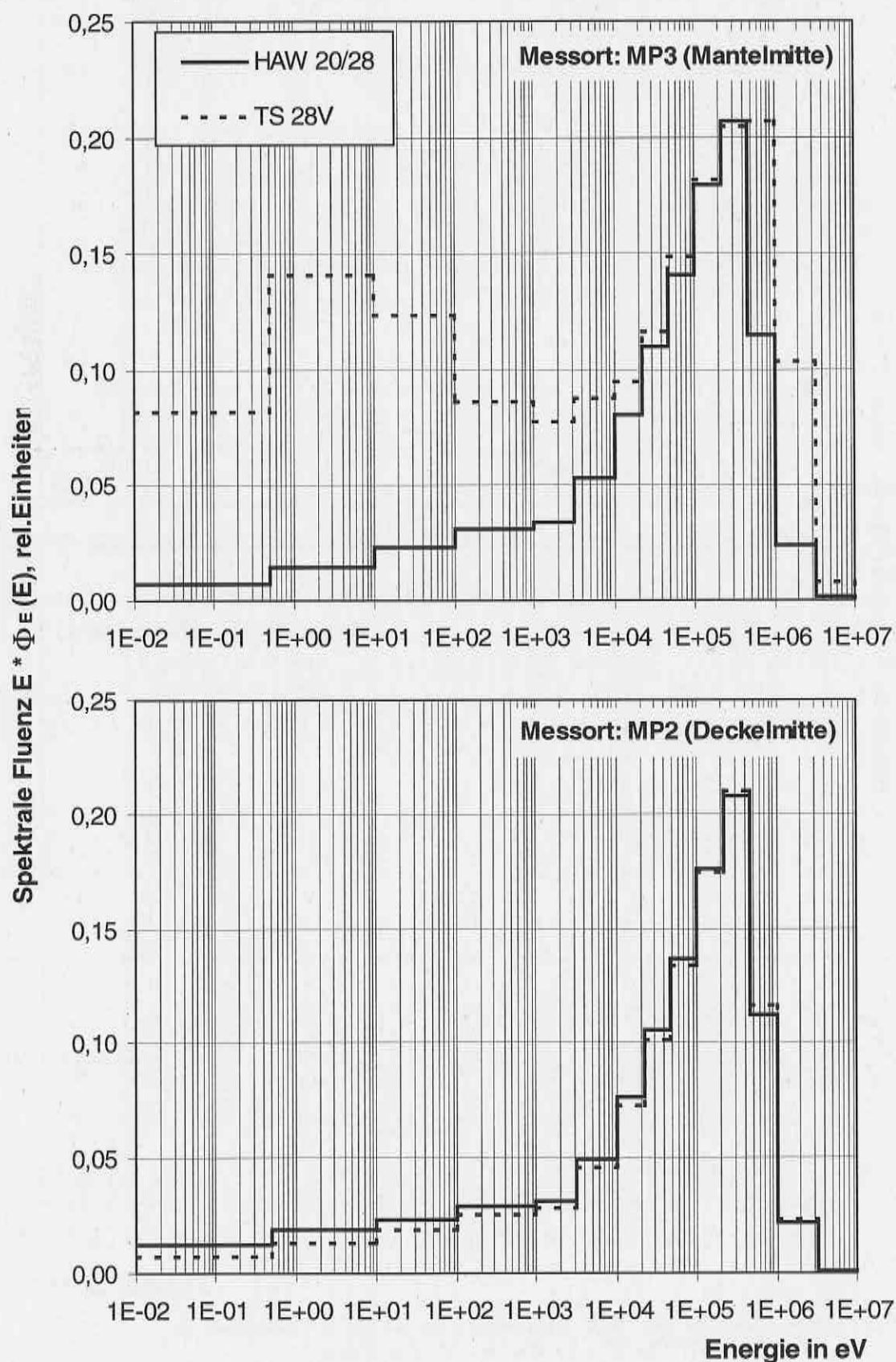


Abbildung 14: Vergleich der Neutronenspektren am CASTOR HAW-20/28-CG und TS 28 V an den Messpunkten 2 und 3

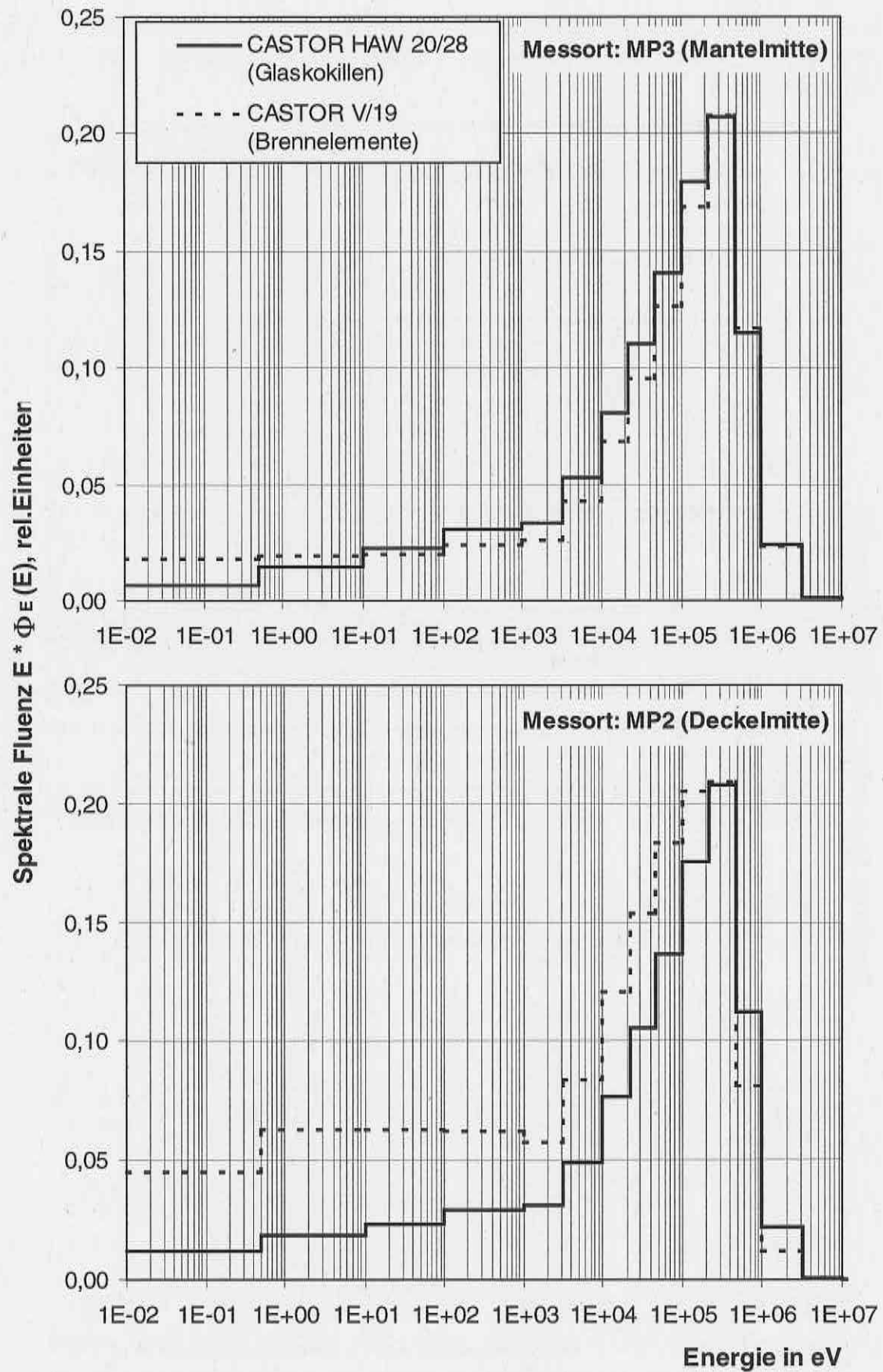


Abbildung 15: Vergleich der Neutronenspektren am CASTOR HAW-20/28-CG und CASTOR V/19 an den Messpunkten 2 und 3

5.6. Vergleich der Messgeräte

In den Tab. 7 bis 9 sind die Ergebnisse zur Ermittlung der systematischen Messunsicherheiten kommerzieller Dosisleistungsmessgeräte für Neutronenstrahlung zusammengefasst. Neben den Messwerten dieser Geräte und den spektrometrisch ermittelten Referenzwerten sind die relativen Dosisanzeigen angegeben. Diese sind der Quotient aus der Dosisanzeige des jeweiligen Messgerätes und dem Referenzwert für die entsprechende Messgröße.

Die Ergebnisse zeigen deutliche gerätetypspezifische Unterschiede, nahezu unabhängig von der Behälterbauart. Die relative Anzeige von Dosimetern des *Leake*-Typs (Harwell 0949 und N 91) ergibt in den meisten Fällen einen Faktor zwei und mehr, d.h. die Dosisleistung wird um ca. 100 % überbewertet. Bei Neutronendosimetern des Typs *Andersson-Braun* - ausgenommen das FHT 750 - liegt die Überschätzung im Bereich von etwa 20 % bis 40%. Beim FHT 750 entspricht die relative Anzeige nahe dem Idealwert 1. Das hat weniger konstruktive Gründe, sondern ist vielmehr ein Ergebnis der gegenüber anderen Geräten des *Andersson-Braun* Typs geänderten Kalibrierung. Bei den beiden Ortsdosimetern des Typs LB 6411 wurde, ungeachtet der unterschiedlichen Kalibriernuklide, eine durchschnittliche Unterbewertung um etwa 10 % mit vergleichsweise geringer Variation für die verschiedenen Messorte und Behälter gefunden.

6. Zusammenfassung

An den Behältern TS 28 V, CASTOR HAW-20/28-CG, beide mit HAW-Kokillen aus der Wiederaufarbeitung bestrahlter Brennelemente bei der COGEMA beladen, sowie am Behälter CASTOR V/19, beladen mit bestrahlten Brennelementen aus dem Gemeinschaftskraftwerk GKN 2, konnten umfangreiche Messungen zur Ermittlung des Strahlungsfeldes in der Umgebung beladener Transport- und Lagerbehälter durchgeführt werden.

Die dabei ermittelten Werte der Gamma- und Neutronendosisleistung stehen im Mittelpunkt dieses Berichts. Die entsprechenden Messprotokolle sind in Anlage 2 und die Dosisleistungen, ggf. nach Berücksichtigung individueller Kalibrierfaktoren, in den Tabellen 1 bis 5 zusammengefasst. An ausgewählten Messpunkten wurden Vergleichsmessungen von kommerziellen Ortsdosimetern für die Neutronenstrahlung mit einem Mehrkugelspektrometer als Referenzgerät durchgeführt, deren Ergebnisse in den Tabellen 6 bis 9 angegeben sind.

Für eine weiterführende Auswertung, z.B. Nachrechnung mit verschiedenen Programmen zur Abschirmung, sind die Inventardaten in Anlage 1 aufgenommen worden.

Abschließend ist festzustellen, dass alle Messwerte, auch diejenigen an Orten mit erhöhter Dosisleistung weder die Werte in den Technischen Annahmbedingungen des TBL Gorleben noch die im Verkehrsrecht festgeschriebenen Grenzwerte übersteigen.

Literatur

- /1/ Aufbewahrungsgenehmigung für das Transportbehälterlager Gorleben
AZ: ET 3.3-2.1.1.13 vom 02.06.1995

- /2/ BfS-ET-15/92
Börst, F.-M.; Rimpler, A.
Strahlungsmessungen an einem Transportbehälter für die Beförderung
abgebrannter Brennelemente
Salzgitter, November 1992

- /3/ BfS-ET-24/97
Heimlich, Friedrich H. (Hrsg.)
Messungen im Neutronen- und Gamma-Strahlungsfeld eines
beladenen Castor-IIa-Behälters im Transportbehälterlager Gorleben
und Vergleich der Meßergebnisse für Neutronen mit Monte-Carlo-
Rechnungen

- /4/ Zulassungsschein D/4317/B(U)F-85

- /5/ Zulassungsschein D/4318/B(U)F-85

- /6/ Zulassungsschein D/4312/B(U)F-85

- /7/ GNB Gesellschaft für Nuklear-Behälter mbH
Sicherheitsbericht für den Transport- und Lagerbehälter TS 28 V
GNB B 93/92 (Rev. 3), März 1995

- /8/ *International Commission on Radiological Protection (ICRP)*
ICRP Publication 21
Data for Protection against Ionizing Radiation from External Sources
Pergamon Press, Oxford, 1971

- /9/ *International Commission on Radiological Protection (ICRP)*
ICRP Publication 60
Recommendations of the International Commission on Radiological
Protection
Annals of the ICRP Vol. 21, No. 1-3
Pergamon Press, Oxford, 1991

- /10/ W.G. Alberts u.a.
Neue Dosismeßgrößen im Strahlenschutz
Bericht PTB-Dos-23, Braunschweig, 1994

- /11/ *Physikalisch-Technische Bundesanstalt*
Bericht über die Prüfung und Kalibrierung eines Äquivalentdosisleistungsmesssystems (Neutronenquelle LB 6411)
Geschäftszeichen: 7.32/95/22811-1
Braunschweig, 14. März 1996
- /12/ *Physikalisch-Technische Bundesanstalt*
Bericht über die Prüfung und Kalibrierung eines Äquivalentdosisleistungsmesssystems (NG-2 Survey Meter)
Geschäftszeichen: 7.32/95/22811-2
Braunschweig, 14. März 1996
- /13/ *Physikalisch-Technische Bundesanstalt*
Bericht über die Prüfung und Kalibrierung eines Äquivalentdosisleistungsmessers (NEUTRON DOSE-EQUIVALENT MONITOR 95/0949-4/6)
Geschäftszeichen: 7.32/96/2488-1
Braunschweig, 2. April 1996
- /14/ *Physikalisch-Technische Bundesanstalt*
Bericht über die Prüfung und Kalibrierung eines Äquivalentdosisleistungsmessers (NEUTRON MONITOR N91)
Geschäftszeichen: 7.32/96/2488-2
Braunschweig, 2. April 1996
- /15/ *Bramblett, R.L.; Ewing, R.I.; and Bonner, T.W.*
A New Type of Neutron Spectrometer
Nucl. Instrum. Methods 9, pp. 1-12, 1960
- /16/ *McElroy, W.N.; Berg, S.; Crockett, T.; and Hawkins, R.G.*
A Computer-Automated Iterative Methode for Neutron Flux Spectra Determination by Foil Activation
Report AFWL-TR-67-41, Los Alamos, 1967
- /17/ *Börst, F.-M.; Rimpler, A.; Scheib, H.*
Dose Rate Measurements at Several Casks for Transport and Interim Storage
Proceedings of the 12th International Conference on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials (PATRAM '98), Paris 10-15 May 1998, S. 1064-1073.
- /18/ *International Commission on Radiological Protection (ICRP)*
ICRP Publication 74
Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation
Annals of the ICRP 26, No. 3/4
Pergamon Press, Oxford, 1996

Tabelle 1: Zusammenstellung der Messergebnisse der Vergleichsmessungen an den Messpunkten MP1 bis MP6

Messgerät	MP1		MP2			MP3			MP5			MP6
	TS 28 V	CASTOR HAW-20/28-CG	TS 28 V	CASTOR HAW-20/28-CG	CASTOR V/19	TS 28 V	CASTOR HAW-20/28-CG	CASTOR V/19	TS 28 V	CASTOR HAW-20/28-CG	CASTOR V/19	
Neutronendosisleistung [$\mu\text{Sv/h}$]												
H*(10) (spektrometrisch)	572,0	122,0	119,0	37,0	4,1	20,1	89,0	39,3	9,1	38,1	13,3	15,4
LB 6411 ^{1),4)}		75,6	80,4	25,8	4,2	18,8	81,1	34,6	8,7	33,0	12,2	14,5
LB 6411 (BLG) ^{1),5)}	469,0	81,0	89,0	27,0		19,1	77,0		8,6	32,5		13,5
FHT 750 ^{2),5)}		93,0		35,0	5,1		85,4	36,4		34,5	13,5	14,4
H _{Made} (spektrometrisch)	382,0	80,0	80,0	24,9	2,8	15,3	60,1	26,5	6,9	25,6	8,9	10,4
NG 2 ^{3),4)}	644,0	100,3	114,0	30,4	4,1	19,0	73,4	34,9	8,9	31,4	14,1	15,2
NIM 2 ^{3),5)}	614,0	98,2	103,0	31,0		16,5	72,2		7,6	31,0		14,4
2202D (88007) ^{3),5)}					4,0			30,0			10,0	
2202D (88008) ^{3),5)}					4,5			32,0			10,0	
Harwell N91 ^{3),4)}	702,0	146,0	153,0	49,6	6,1	28,5	111,2	49,2	12,1	39,2	18,7	21,3
Harwell 0949 ^{3),4)}	1128,0	191,3	188,0	60,7		29,3	130,0		14,3	58,6		23,6
Harwell 0949 (BLG) ^{3),5)}			118,0			20,9			9,0			
Gamma												
FH 40 F2	16,5	2,3	8,0	3,3	13,0	22,0		80,5	10,0	14,0	37,0	6,8
Szintomat	13,0		5,5		11,0	18,0		65,0	7,5		28,5	7,0
Szintomat (BLG)						17,0			6,8			
AD 5					11,0		29,0	75,0			35,0	
RGD 27040					11,0			63,0			32,0	
NG 2	12,7							52,0	8,1			

1) kalibriert für AmBe/ICRP 60 2) kalibriert für ²⁵²Cf/ICRP 60 3) kalibriert für AmBe/ICRP 21 4) Kalibrierfaktor gemäß PTB-Kalibrierung 5) Kalibrierfaktor gemäß Herstellerangaben

Tabelle 2: Zusammenstellung der Messergebnisse der Vergleichsmessungen an sonstigen Messpunkten

Messgerät	TS 28 V			CASTOR HAW-20/28-CG	
	Deckel (30 cm seitl. 40 cm hoch)	Tragzapfen, unten	neben Tragzapfen, unten	Tragzapfen, unten Höhe 50 cm	Tragzapfen, unten Höhe 80 cm
Neutronendosisleistung [µSv/h]	LB 6411 ^{1),3)}	81,6	84,7		
	LB 6411 (BLG) ^{1),4)}	142,3			
	NM 2 ^{2),4)}	146,2			
	Harwell N91 ^{2),3)}	218,1	134,6	83,0	114,2
	Harwell 0949 ^{2),3)}	311,6	158,6	98,6	133,1
Gamma- dosis- leistung [µSv/h]	FH 40 F2	6,0	37,0	21,0	60,0
	Szintomat	5,5	30,0	18,0	51,0

1) kalibriert für AmBe/ICRP 60 2) kalibriert für AmBe/ICRP 21

3) Kalibrierfaktor gemäß PTB-Kalibrierung 4) Kalibrierfaktor gemäß Herstellerangaben

Tabelle 3: Zusammenstellung der Messergebnisse für die Höhenprofile

Höhe [cm]	TS 28 V			CASTOR HAW-20/28-CG			CASTOR V/19		
	Gammadosis- leistung ¹⁾ [µSv/h]	Neutronendosis- leistung ²⁾ [µSv/h]	Summe [µSv/h]	Gammadosis- leistung ¹⁾ [µSv/h]	Neutronendosis- leistung ²⁾ [µSv/h]	Summe [µSv/h]	Gammadosis- leistung ¹⁾ [µSv/h]	Neutronendosis- leistung ²⁾ [µSv/h]	Summe [µSv/h]
43							65,0	48,5	113,5
47	16,0	21,3	37,3						
49				88,0	125,4	213,4			
72	18,5	24,8	43,3	39,0	137,0	176,0			
93							105,0	38,5	143,5
97	25,0	28,0	53,0	37,5	145,9	183,4			
122	24,0	30,3	54,3	39,5	149,0	188,5			
143							66,0	32,0	98,0
147	21,0	27,0	48,0	34,5	136,3	170,8			
172	21,0	24,2	45,2	29,0	129,0	158,0			
193							80,0	44,2	124,2
197	20,0	21,5	41,5	30,5	128,6	159,1			
222	20,0	21,1	41,1	30,0	123,0	153,0			
243							85,0	47,4	132,4
247				29,5	120,8	150,3			
272				23,0	118,0	141,0			
292	22,0	29,3	51,3						
293							80,5	49,3	129,8
297				23,0	92,2	115,2			
322				23,5	105,8	129,3			
343							85,0	49,1	134,1
347				24,0	106,8	130,8			
372				23,5	103,5	127,0			
393							82,0	45,3	127,3
397				20,0	97,3	117,3			
422				22,5	101,9	124,4			
443							70,0	29,6	99,6
493							280,0	19,8	299,8
543							80,0	17,9	97,9

1) Messwerte ermittelt mit FH 40 F 2 oder AD5

2) Messwerte ermittelt mit Harwell N91

Tabelle 4: Zusammenstellung der Messergebnisse der Abstandsmessungen

Höhe [cm]	TS 28 V			CASTOR HAW-20/28-CG		
	Gammadosis- leistung ¹⁾ [μSv/h]	Neutronendosis- leistung ²⁾ [μSv/h]	Summe [μSv/h]	Gammadosis- leistung ¹⁾ [μSv/h]	Neutronendosis- leistung ²⁾ [μSv/h]	Summe [μSv/h]
16		30,6				
25		28,7				
30		26,7				
30 ³⁾	22,0	29,3	51,3			
30 ⁴⁾				29,0	111,2	140,2
35		25,2				
40		25,2				
100	14,0	17,0	31,0			
200 ⁴⁾	10,0	12,1	22,1	14,0	39,2	53,2
300	7,0	9,0	16,0			
400	4,5	7,5	12,0			
500 ⁴⁾	4,0	6,3	10,3	6,8	21,3	28,1
1000		3,9	3,9	2,2	8,1	10,3
1000 ⁵⁾				2,3	5,8	8,1
2000		1,5		1,3	2,8	4,1
2000 ⁵⁾				1,0	2,0	3,0
3000				0,9	1,2	2,1

1) Messwerte ermittelt mit FH 40 F 2 oder AD5

2) Messwerte ermittelt mit Harwell N91

3) aus Höhenprofil

4) aus Vergleichsmessung

5) Messgeräte am Boden stehend

Tabelle 5: Zusammenstellung der Messergebnisse des Radialprofils CASTOR HAW-20/28-CG

Messort (Winkel in [°])	CASTOR HAW-20/28-CG		
	Gammadosis- leistung ¹⁾	Neutronendosis- leistung ²⁾	Summe
	[μSv/h]	[μSv/h]	[μSv/h]
0	46,5	148,6	195,1
15	47,5	149,4	196,9
30	49,5	155,2	204,7
45	46,0	144,3	190,3
60	46,0	146,6	192,6
75	44,0	143,1	187,1
90	48,5	148,2	196,7
105	46,5	140,8	187,3
120	42,0	133,0	175,0
135	37,5	129,4	166,9
150	40,5	129,1	169,6
165	37,0	126,2	163,2
180	35,0	119,8	154,8
195	37,5	119,3	156,8
210	41,0	116,9	157,9
225	39,0	125,0	164,0
240	39,0	127,1	166,1
255	42,5	133,8	176,3
270	49,5	137,5	187,0
285	45,5	141,6	187,1
300	44,5	142,4	186,9
315	46,0	142,7	188,7
330	47,5	142,0	189,5
345	46,5	146,3	192,8
360	48,0	148,1	196,1

1) Messwerte ermittelt mit FH 40 F 2

2) Messwerte ermittelt mit Harwell N91

Tabelle 6: Referenzwerte der Neutronen- und Gammadosisleistung und der Neutronenflussdichte an den spektrometrisch untersuchten Messpunkten

Behälter	MP	Flußdichte [cm ⁻² s ⁻¹]	Dosisleistung [µSv/h]				$H^*(10)/H_{\text{Gesamt}}$ [%]
			$\dot{H}_{\text{Made}}$	$\dot{H}^*(10)$	$\dot{H}_{\text{Gamma}}$	$\dot{H}_{\text{Gesamt}}^*)$	
CASTOR V/19	2	158	2,8	4,1	13,0	17,1	24
	3	90	26,5	39,3	80,5	119,8	33
	5	39	8,9	13,3	37,0	50,3	26
CASTOR HAW-20/28-CG	1	280	80,0	122,0	2,3	124,3	98
	2	89	24,9	37,0	3,3	40,3	92
	3	208	60,1	89,0	29,0	118,0	75
	5	96	25,6	38,1	14,0	52,1	73
	6	47	10,4	15,4	6,8	22,2	69
TS28V	1	1246	382,0	572,0	16,5	588,5	97
	2	263	80,0	119,0	8,0	127,0	94
	3	65	15,3	20,1	22,0	42,1	48
	5	38	6,9	9,1	10,0	19,1	48

) $\dot{H}_{\text{Gesamt}} = \dot{H}^(10) + \dot{H}_{\text{Gamma}}$

Tabelle 7: Messgerätevergleich - TS 28 V

spektrometrisch	Messpunkt					mittlere relative Dosisanzeige	Abweichung
	MP 1	MP 2	MP 3	MP 5			
H*(10) ($\mu\text{Sv/h}$)	572,0	119,0	20,1	9,1		0,86	12 % ... -21 %
H _{Made} ($\mu\text{Sv/h}$)	382,0	80,0	15,3	6,9		0,87	10 % ... -14 %
Gerätetyp *)	1. Zahl: Geräteanzeige ($\mu\text{Sv/h}$), 2. relative Anzeige					1,41	20 % ... -12 %
LB 6411 ¹⁾		80,4	18,8	8,7	0,96	1,27	27 % ... -15 %
LB 6411, BLG ²⁾	469	89,0	19,1	8,6	0,95	1,84	4 % ... -5 %
NG 2 ¹⁾	644	114	19,0	8,9	1,29	2,32	27 % ... -18 %
NM 2 ²⁾	614	103	16,5	7,6	1,10	1,38	7 % ... -6 %
Harwell N91 ¹⁾	702	153	28,5	12,1	1,75		
Harwell 0949 ¹⁾	1128	188	29,3	14,3	2,07		
Harwell 0949, BLG ²⁾		118	20,9	9,0	1,30		

¹⁾ LB 6411 kalibriert für AmBe/ICRP 60; alle anderen für AmBe/ICRP 21

¹⁾ Kalibrierfaktoren gemäß PTB-Kalibrierung

²⁾ Kalibrierfaktor gemäß Herstellerangaben

Anlage 1 - Inventare

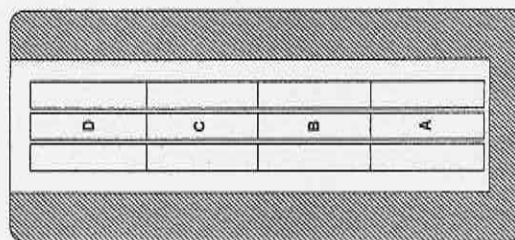
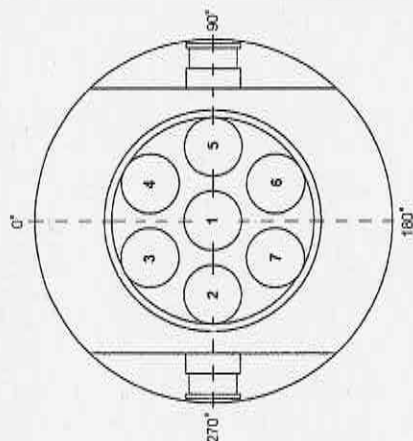
Tab. 1: Inventar TS 28 V

Tab. 2: Inventar CASTOR HAW-20/28-CG (SN 03)

Tab. 3: Inventar CASTOR V/19 (SN 04)

Tabelle 1: Inventar TS 28 V

Bezugsdatum: Produktionsdatum

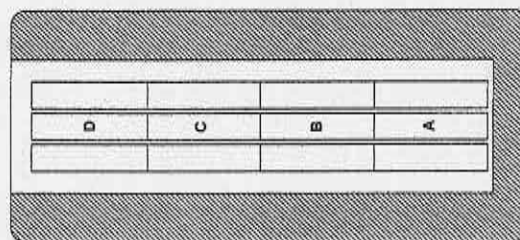
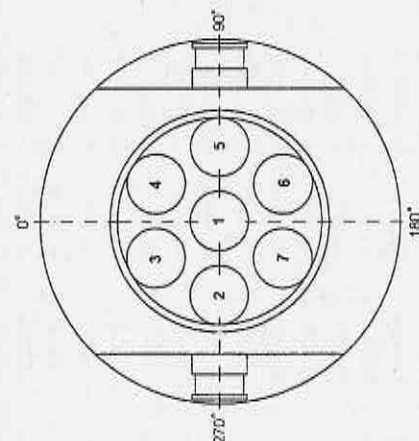


Position	Kok.-Nr.	Prod.-Datum	Sr-90 [TBq/Kok]	Ru-106 [TBq/Kok]	Cs-134 [TBq/Kok]	Cs-137 [TBq/Kok]	Ce-144 [TBq/Kok]	Eu-154 [TBq/Kok]	Cm-244 [g/Kok]	Am-241 [g/Kok]
A1	01212C	13.01.1992	6258	380	504	4895	404	137	19,6	380
A2	01238C	22.01.1992	6525	386	521	5019	407	140	19,7	375
A3	01795C	20.03.1992	6304	380	539	4967	421	145	31,6	348
A4	01364C	10.03.1992	5852	419	518	5048	475	140	21,8	358
A5	01731C	04.03.1992	5733	411	507	4945	465	138	21,3	351
A6	00099	13.12.1989	6917	571	815	5364	549	151	26,5	398
A7	00161	19.11.1989	7090	585	836	5499	563	154	27,2	408
B1	01844C	03.06.1992	6658	256	341	4356	236	109	19,9	283
B2	01330C	31.03.1992	6127	370	524	4828	410	141	30,7	338
B3	01565C	11.02.1993	6538	221	413	4317	180	127	25,8	495
B4	01826C	14.02.1993	5715	554	762	3672	587	171	13,5	306
B5	99927C	13.05.1991	5116	235	484	5836	322	178	31,3	421
B6	99934C	12.05.1991	5833	553	761	5662	586	170	29,3	576
B7	99941C	11.05.1991	5107	581	800	5950	616	179	31,3	421
C1	99937C	10.05.1991	5367	538	740	5507	570	166	32,9	442
C2	99935C	11.05.1991	4967	558	767	5710	591	172	30,4	409
C3	00943C	09.05.1991	7331	558	728	4973	709	154	31,6	424
C4	00262	14.06.1989	5151	728	848	4361	236	109	26,3	499
C5	01838C	17.06.1992	6665	256	342	4617	283	120	19,6	284
C6	01296C	05.05.1992	6780	290	394	4944	401	138	22,8	306
C7	01313C	21.01.1992	6427	381	513	5196	474	146	19,4	370
D1	01173C	26.01.1992	5971	425	510	5040	409	141	23,3	487
D2	01300C	19.01.1992	6552	388	523	4915	399	138	19,8	377
D3	01323C	18.01.1992	6389	378	510	4975	404	139	19,3	368
D4	01320C	15.01.1992	6468	383	516	5049	461	142	19,5	372
D5	01301C	25.01.1992	5802	413	496	5109	466	144	22,6	473
D6	01226C	24.01.1992	5871	418	502	5029	408	141	22,9	478
D7	01302C	16.01.1992	6537	387	522				19,7	376
Summe			172051	11445	15598	139338	12032	4002	679,6	11123

(freie Felder: unter Nachweisgrenze)

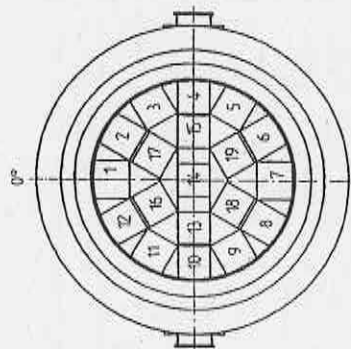
Tabelle 2: Inventar CASTOR HAW-20/28-CG (SN 03)

Bezugsdatum: Produktionsdatum



Position	Kok.-Nr.	Prod.-Datum	Sr-90 [TBq/Kok]	Ru-106 [TBq/Kok]	Cs-134 [TBq/Kok]	Cs-137 [TBq/Kok]	Ce-144 [TBq/Kok]	Eu-154 [TBq/Kok]	Cm-244 [g/Kok]	Am-241 [g/Kok]
A1	188	26.08.1989	6972	690	912	5605	668	174	26	388
A2	195	19.09.1989	8201	574	786	4954	574	155	26	412
A3	212	27.08.1989	6997	592	916	5625	671	175	26	390
A4	216	25.08.1989	7006	763	894	5410	704	182	27	398
A5	244	15.06.1989	7388	733	857	5011	714	155	27	503
A6	309	29.04.1990	6654	213	382	4319	163	122	20	307
A7	318	06.05.1990	6792	217	391	4409	166	124	20	314
B1	320	05.05.1990	6593	211	379	4280	162	121	20	304
B2	321	04.05.1990	6610	211	381	4291	162	121	20	305
B3	322	01.05.1990	6849	219	394	4446	168	125	21	316
B4	323	02.05.1990	6258	200	360	4062	153	114	19	289
B5	324	07.05.1990	6200	198	357	4024	152	113	19	286
B6	326	03.05.1990	7005	224	403	4547	172	128	21	323
B7	401C	13.06.1990	6451	282	382	4351	251	141	18	391
C1	408C	19.06.1990	5304	304	408	4567	120	126	18	362
C2	414C	19.06.1990	6365	278	377	4293	247	139	17	386
C3	419C	15.06.1990	6188	270	366	4174	241	135	17	375
C4	423C	20.06.1990	6170	269	366	4161	240	135	17	374
C5	424C	18.06.1990	6272	274	372	4231	244	137	17	380
C6	425C	16.06.1990	5119	293	394	4407	115	122	18	350
C7	1084C	16.11.1991	6449	86	141	4958	56	95	18	338
D1	1092C	17.11.1991	6120	100	280	4954	66	134	32	466
D2	1168C	17.11.1991	6456	87	141	4963	56	95	18	338
D3	1172C	23.01.1992	6528	427	472	4816	425	124	20	317
D4	1180C	14.11.1991	6440	44	112	5108	52	102	16	410
D5	1199C	22.01.1992	6541	427	472	4824	425	124	20	317
D6	1289C	18.01.1992	6276	103	287	5080	67	137	32	478
D7	1858C	18.06.1992	6855	264	352	4485	243	113	20	292
Summe			183059	8653	12334	130355	7477	3667	590	10109

Tabelle 3: Inventar CASTOR V/19 (SN 04)
 Bezugsdatum: 01.02.1997



Pos.	BE-Nr.	ursprüngliche Anreicherung [%]	Abbrand [GWd/t _{SM}]	Abklingzeit [Monate]	Aktivität [PBq]	Quellstärke [1/s·tSM]										Neutronenquellstärke	
						Gammaquellstärke											
						Energiegruppe										(α,n)-Reaktion	Spontanspaltung
						0,57 MeV	0,85 MeV	1,25 MeV	1,75 MeV	2,25 MeV	2,75 MeV	3,5 MeV					
1	A224 V	2,501	33,744	53,5	10,286	5,88·10 ¹⁵	1,49·10 ¹⁵	3,20·10 ¹⁴	1,09·10 ¹³	6,56·10 ¹²	2,29·10 ¹¹	2,94·10 ¹⁰	9,95·10 ⁶	5,93·10 ⁸			
2	A227 N	2,501	33,872	53,5	10,286	5,88·10 ¹⁵	1,49·10 ¹⁵	3,20·10 ¹⁴	1,09·10 ¹³	6,56·10 ¹²	2,29·10 ¹¹	2,94·10 ¹⁰	9,95·10 ⁶	5,93·10 ⁸			
3	A228 L	2,501	34,004	53,5	10,286	5,88·10 ¹⁵	1,49·10 ¹⁵	3,20·10 ¹⁴	1,09·10 ¹³	6,56·10 ¹²	2,29·10 ¹¹	2,94·10 ¹⁰	9,95·10 ⁶	5,93·10 ⁸			
4	A231 Y	2,501	33,755	53,5	12,506	5,88·10 ¹⁵	1,49·10 ¹⁵	3,20·10 ¹⁴	1,09·10 ¹³	6,56·10 ¹²	2,29·10 ¹¹	2,94·10 ¹⁰	9,95·10 ⁶	5,93·10 ⁸			
5	A354 D	2,501	32,041	53,5	12,506	5,88·10 ¹⁵	1,49·10 ¹⁵	3,20·10 ¹⁴	1,09·10 ¹³	6,56·10 ¹²	2,29·10 ¹¹	2,94·10 ¹⁰	9,95·10 ⁶	5,93·10 ⁸			
6	A357 6	2,501	31,776	53,5	12,506	5,88·10 ¹⁵	1,49·10 ¹⁵	3,20·10 ¹⁴	1,09·10 ¹³	6,56·10 ¹²	2,29·10 ¹¹	2,94·10 ¹⁰	9,95·10 ⁶	5,93·10 ⁸			
7	A360 K	2,501	31,993	53,5	12,506	5,88·10 ¹⁵	1,49·10 ¹⁵	3,20·10 ¹⁴	1,09·10 ¹³	6,56·10 ¹²	2,29·10 ¹¹	2,94·10 ¹⁰	9,95·10 ⁶	5,93·10 ⁸			
8	A379 V	2,501	32,557	53,5	12,506	5,88·10 ¹⁵	1,49·10 ¹⁵	3,20·10 ¹⁴	1,09·10 ¹³	6,56·10 ¹²	2,29·10 ¹¹	2,94·10 ¹⁰	9,95·10 ⁶	5,93·10 ⁸			
9	A384 3	2,501	32,335	53,5	12,506	5,88·10 ¹⁵	1,49·10 ¹⁵	3,20·10 ¹⁴	1,09·10 ¹³	6,56·10 ¹²	2,29·10 ¹¹	2,94·10 ¹⁰	9,95·10 ⁶	5,93·10 ⁸			
10	A403 T	2,501	31,868	53,5	12,506	5,88·10 ¹⁵	1,49·10 ¹⁵	3,20·10 ¹⁴	1,09·10 ¹³	6,56·10 ¹²	2,29·10 ¹¹	2,94·10 ¹⁰	9,95·10 ⁶	5,93·10 ⁸			
11	A406 L	2,501	31,571	53,5	12,506	5,88·10 ¹⁵	1,49·10 ¹⁵	3,20·10 ¹⁴	1,09·10 ¹³	6,56·10 ¹²	2,29·10 ¹¹	2,94·10 ¹⁰	9,95·10 ⁶	5,93·10 ⁸			
12	A409 D	2,501	32,43	53,5	12,506	5,88·10 ¹⁵	1,49·10 ¹⁵	3,20·10 ¹⁴	1,09·10 ¹³	6,56·10 ¹²	2,29·10 ¹¹	2,94·10 ¹⁰	9,95·10 ⁶	5,93·10 ⁸			
13	A162 S	1,902	23,972	42	10,286	4,26·10 ¹⁵	1,00·10 ¹⁵	2,25·10 ¹⁴	9,39·10 ¹²	7,81·10 ¹²	2,43·10 ¹¹	3,11·10 ¹⁰	5,31·10 ⁶	2,21·10 ⁸			
14	A178 8	1,902	23,619	42	10,286	4,26·10 ¹⁵	1,00·10 ¹⁵	2,25·10 ¹⁴	9,39·10 ¹²	7,81·10 ¹²	2,43·10 ¹¹	3,11·10 ¹⁰	5,31·10 ⁶	2,21·10 ⁸			
15	A182 K	1,902	23,907	42	10,286	4,26·10 ¹⁵	1,00·10 ¹⁵	2,25·10 ¹⁴	9,39·10 ¹²	7,81·10 ¹²	2,43·10 ¹¹	3,11·10 ¹⁰	5,31·10 ⁶	2,21·10 ⁸			
16	A225 T	2,501	31,521	42	12,321	5,60·10 ¹⁵	1,43·10 ¹⁵	3,04·10 ¹⁴	1,12·10 ¹³	7,98·10 ¹²	2,56·10 ¹¹	3,28·10 ¹⁰	8,50·10 ⁶	4,39·10 ⁸			
17	A226 R	2,501	31,562	42	12,321	5,60·10 ¹⁵	1,43·10 ¹⁵	3,04·10 ¹⁴	1,12·10 ¹³	7,98·10 ¹²	2,56·10 ¹¹	3,28·10 ¹⁰	8,50·10 ⁶	4,39·10 ⁸			
18	A229 J	2,501	31,562	42	12,321	5,60·10 ¹⁵	1,43·10 ¹⁵	3,04·10 ¹⁴	1,12·10 ¹³	7,98·10 ¹²	2,56·10 ¹¹	3,28·10 ¹⁰	8,50·10 ⁶	4,39·10 ⁸			
19	A230 1	2,501	31,411	42	12,321	5,60·10 ¹⁵	1,43·10 ¹⁵	3,04·10 ¹⁴	1,12·10 ¹³	7,98·10 ¹²	2,56·10 ¹¹	3,28·10 ¹⁰	8,50·10 ⁶	4,39·10 ⁸			

Anlage 2 - Messprotokolle

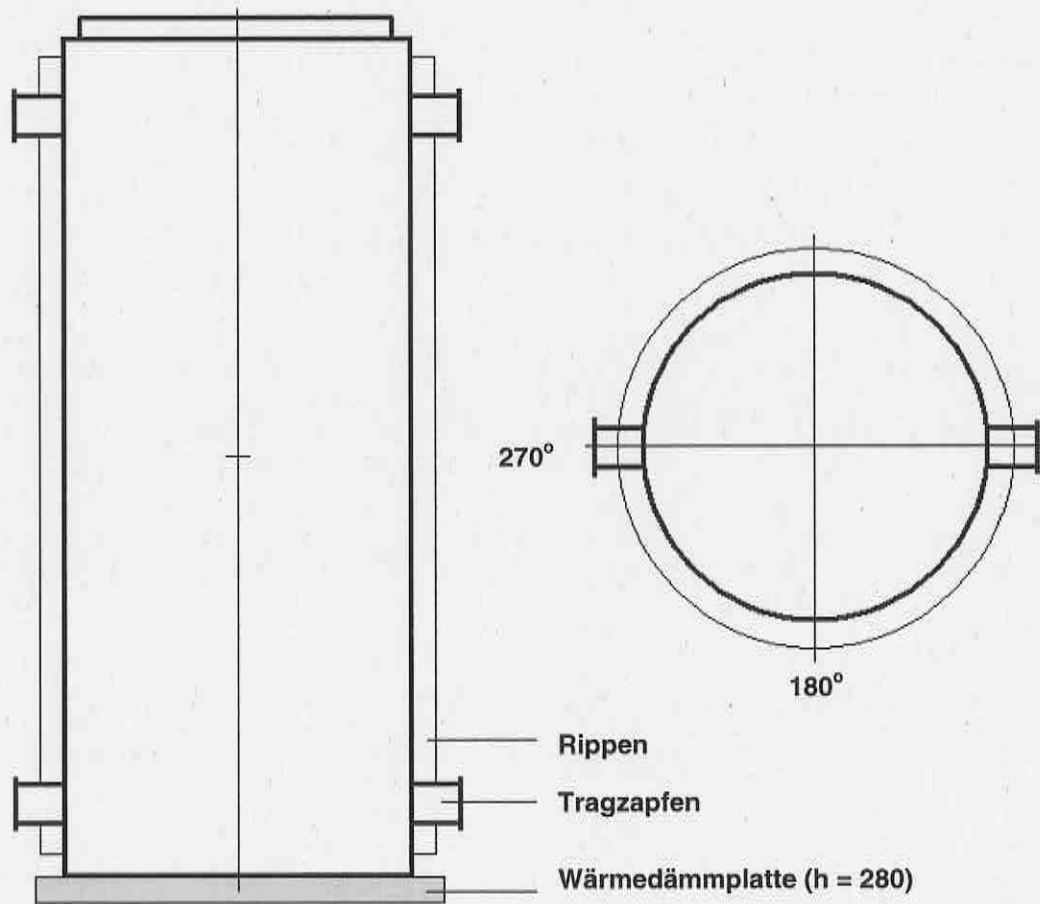
Messprotokoll TS 28 V

Messprotokoll CASTOR V/19

Messprotokoll CASTOR HAW-20/28-CG

Ort: Brennelementlager Gorleben
Zeit: 17./18.09.1996
Behälter: TS28V-001
(Lagerkonfiguration)
Teilnehmer: Börst
Scheib

Skizze:



Messgeräte:

	Geräte- nummern	Kalibrierfaktoren nach Hersteller	Kalibrierfaktoren nach PTB (Am-Be)
BfS:			
Harwell N91	011	1 Imp. = 1,1574 nSv	1,23
Harwell 0949	H31	1 Imp. = 1,1574 nSv	1,53
NG2 („Snoopy“)	NG-195101		1,013
LB 6411 ^{*)}	4670-1001	Anzeige in [Imp/s] · 1,4 = Dosisleistung in [μSv/h]	0,845
FH 40 F2	006914		
Szintomat 6134A	77761		
BLG:			
Harwell		1 Imp. = 1,1574 nSv	
NM2			
LB 6411 ^{*)}		Anzeige in [Imp/s] · 1,27 = Dosisleistung in [μSv/h]	
Szintomat 6134	84334		

^{*)} Kalibrierung auf $H^*(10)$

Höhenprofil

Messort ¹⁾	Harwell N 91		Harwell 0949		FH 40	Szintomat
[cm]	Impulse	Zeit [s]	Impulse	Zeit[s]	[μ Sv/h]	[μ Sv/h]
75	2746	660	2702	720	$16 \pm 0,8$	12
100	3195	660	2524	600	$18,5 \pm 0,8$	16
125	2292	420	1505	300	25 ± 1	18
150	2484	420	2140	400	24 ± 1	19
175	1266	240	1046	210	21 ± 1	18
200	2548	540	1702	360	21 ± 1	17
225	1512	360	3134	790	$20 \pm 0,5$	17
250	1479	360	1029	260	20 ± 1	$17,5 \pm 0,5$
320 ²⁾	2061 23704	360 4260	2756	600	$22 \pm 1,5$	18

1) Messort: 180°-Achse, 30 cm Abstand von Rippenoberkante zur Kugelmitte bzw. Detektor
Höhe über Boden TBL (Behälter steht auf Wärmedämmplatte $h = 28$ cm)

2) Ebene für Vergleichsmessungen $\Rightarrow$ MP3

Abstandsmessungen (Ebene 3,20 m)

Abstand	Harwell N 91		FH 40	Szintomat
[cm]	Impulse	Zeit [s]	[$\mu\text{Sv/h}$]	[$\mu\text{Sv/h}$]
16	1076	180		
25	1007	180		
30	937	180		
35	886	180		
40	884	180		
100	1193	360	14 ± 1	13 ± 1
300	1054	600	$7 \pm 0,5$	$5,5 \pm 0,5$
400	1053	720	$4,5 \pm 0,5$	$4 \pm 0,5$
500	3561	2880	$4 \pm 0,5$	$3 \pm 0,5$
1000	903	1200		
2000	511	1800		

Vergleichsmessungen am Messort MP1
(Deckel, direkt, Achse 90°)

Messgerät	Werte
Harwell N 91	8213 Imp. Messdauer: 60 s
Harwell 0949	9024 Imp. Messdauer: 51 s
LB 6411 (BLG)	369 Imp/s Messdauer: 100 s Fehler: 1,0%
NG2	a) 643 $\mu\text{Sv/h}$ - liegend b) 518 $\mu\text{Sv/h}$ - stehend 631 $\mu\text{Sv/h}$ - liegend 12,7 $\mu\text{Sv/h}$ - γ -Dosisleistung
NM2	a) 616,6 $\mu\text{Sv/h}$ b) 609,1 $\mu\text{Sv/h}$ c) 616 $\mu\text{Sv/h}$
FH 40	16,5 $\pm$ 0,8 $\mu\text{Sv/h}$
Szintomat	13 $\pm$ 1 $\mu\text{Sv/h}$

Vergleichsmessungen am Messort MP2

(Deckelmitte, 32 cm Abstand Oberfläche zur Kugelmitte)

Messgerät	Werte
Harwell N 91	3573 Imp. Messdauer: 120 s
Harwell 0949	2950 Imp. Messdauer: 100 s
Harwell 0949 (BLG)	2833 Imp. Messdauer: 100 s
LB 6411	68 Imp/s Messdauer: 100 s Fehler: 1,2%
LB 6411 (BLG)	70 Imp/s Messdauer: 100 s Fehler: 1,2%
NG2	$113 \pm 1 \mu\text{Sv/h}$
NM2	a) $100,3 \mu\text{Sv/h}$ b) $100,6 \mu\text{Sv/h}$ c) $101,1 \mu\text{Sv/h}$ d) $103,2 \mu\text{Sv/h}$ e) $106,4 \mu\text{Sv/h}$ f) $107 \mu\text{Sv/h}$ g) $102 \mu\text{Sv/h}$
FH 40	$8 \pm 1 \mu\text{Sv/h}$
Szintomat	$5,5 \pm 0,5 \mu\text{Sv/h}$

Vergleichsmessungen am Messort MP3

Messgerät	Werte
Harwell N 91	2061 Imp. Messdauer: 360 s 23704 Imp. Messdauer: 4260 s
Harwell 0949	2756 Imp. Messdauer: 600 s
Harwell 0949 (BLG)	3012 Imp. Messdauer: 600 s
LB 6411	15,9 Imp/s Messdauer: 600 s Fehler: 1,0%
LB 6411 (BLG)	15,0 Imp/s Messdauer: 600 s Fehler: 1,1%
NG2	18,8 $\mu\text{Sv/h}$
NM2	a) 15,0 $\mu\text{Sv/h}$ b) 17,5 $\mu\text{Sv/h}$ c) 18,7 $\mu\text{Sv/h}$ d) 14,6 $\mu\text{Sv/h}$
FH 40	$22 \pm 1,5 \mu\text{Sv/h}$
Szintomat	18 $\mu\text{Sv/h}$
Szintomat (BLG)	17 $\mu\text{Sv/h}$

Vergleichsmessungen am Messort MP5
(2 m Abstand)

Messgerät	Werte
Harwell N 91	2262 Imp. Messdauer: 960 s
Harwell 0949	1929 Imp. Messdauer: 860 s
Harwell 0949 (BLG)	1852 Imp. Messdauer: 860 s
LB 6411	7,4 Imp/s Messdauer: 300 s Fehler: 2,1%
LB 6411 (BLG)	6,8 Imp/s Messdauer: 300 s Fehler: 2,2%
NG2	8,92 $\mu\text{Sv/h}$ - stehend 9,4 $\mu\text{Sv/h}$ - liegend 8,1 $\mu\text{Sv/h}$ - γ -Dosisleistung
NM2	a) 7,8 $\mu\text{Sv/h}$ b) 7,6 $\mu\text{Sv/h}$ c) 7,4 $\mu\text{Sv/h}$ d) 7,5 $\mu\text{Sv/h}$
FH 40	$10 \pm 1 \mu\text{Sv/h}$
Szintomat	$7,5 \pm 0,5 \mu\text{Sv/h}$
Szintomat (BLG)	6,5 ... 7 $\mu\text{Sv/h}$

Sonstige Messungen

Messungen am Deckel (90°-Achse, 30 cm seitlich, 40 cm hoch)

Messgerät	Werte
Harwell N 91	2553 Imp. Messdauer: 60 s
Harwell 0949	2933 Imp. Messdauer: 60 s
LB 6411 (BLG)	112 Imp/s Messdauer: 100 s Fehler: 1,0%
NM2	a) 145,1 $\mu\text{Sv/h}$ b) 144,9 $\mu\text{Sv/h}$ c) 150 $\mu\text{Sv/h}$
FH 40	$6 \pm 0,5 \mu\text{Sv/h}$
Szintomat	$5,5 \pm 0,5 \mu\text{Sv/h}$

Tragzapfen, unten - (270°-Achse, 30 cm Abstand von verlängertem Behälterkörper zur Kugelmitte):

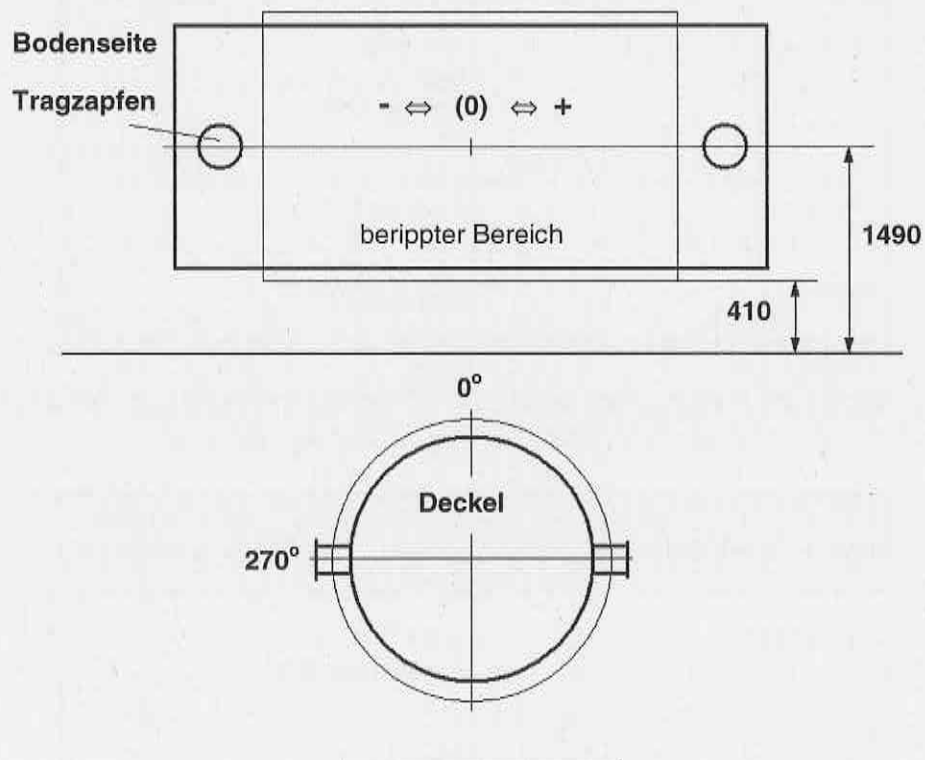
Messgerät	Werte
Harwell N 91	4181 Imp. Messdauer: 180 s
Harwell 0949	4135 Imp. Messdauer: 200 s
LB 6411	69 Imp/s Messdauer: 300 s Fehler: 1,0%
FH 40	$37 \pm 2 \mu\text{Sv/h}$
Szintomat	$30 \pm 2 \mu\text{Sv/h}$

direkt rechts neben Tragzapfen, unten (270°-Achse in Richtung 180°-Achse, 30 cm Abstand von verlängertem Behälterkörper zur Kugelmitte):

Messgerät	Werte
Harwell N 91	4727 Imp. Messdauer: 180 s
Harwell 0949	2488 Imp. Messdauer: 100 s
LB 6411	71,6 Imp/s Messdauer: 300 s Fehler: 1,0%
FH 40	$21 \pm 0,5 \mu\text{Sv/h}$
Szintomat	$18 \mu\text{Sv/h}$

Ort: Gemeinschaftskraftwerk Neckar
Zeit: 18.02.1997
Behälter: CASTOR V/19-004
(Transportkonfiguration ohne Stoßdämpfer, liegend im Transportgestell)
Teilnehmer: Börst
Scheib

Skizze:



Messgeräte:

	Geräte- nummern	Kalibrierfaktoren nach Hersteller	Kalibrierfaktoren nach PTB (Am-Be)
BfS:			
Harwell N91	011	1 Imp. = 1,1574 nSv	1,23
NG2 („Snoopy“)	NG-195101		1,013
LB 6411 ¹⁾	4670-1001	Anzeige in [Imp/s] · 1,4 = Dosisleistung in [µSv/h]	0,845
FHT 750 („Biorem“) ²⁾			
FH 40 F2	006914		
Szintomat 6134A	77761		
AD5			
RGD 27040			
GKN:			
Alnor 2202D	88007		
Alnor 2202D	88008		

¹⁾ Kalibrierung auf H⁺(10) - AmBe²⁾ Kalibrierung auf H⁺(10) - ²⁵²Cf

sonstige Geräte gemäß Herstellerangaben

Höhenprofil

Messort ¹⁾	Harwell N 91		FH 40	Szintomat
	Impulse	Zeit [s]	[μ Sv/h]	[μ Sv/h]
-5	4262	450	65 ± 5	50
-4	4285	570	105 ± 5	95
-3	2247	360	66 ± 3	60
-2	2848	330	80 ± 3	70
-1	2497	270	85 ± 5	75
0 ²⁾	4617 2296	480 240	$80,5 \pm 2,5$	65
+1	2301	240	85 ± 5	58
+2	3712	420	82 ± 4	55
+3 ^{*)}	3206	555	70 ± 5	50
+4	2264	585	280 ± 10	280
+5 ^{**))}	2508	720	80 ± 5	79

- 1) Messort: 270°-Achse, 30 cm Abstand von Rippenoberkante (^{*)} 35 cm) zur Kugelmitte bzw. Detektor
Höhe über Boden 1,49 m
Messort 0 $\Rightarrow$ Behältermitte (= 2,93 über Boden)
Messort +1 $\Rightarrow$ vom Messort 0: 50 cm in Richtung Deckel
Messort -1 $\Rightarrow$ vom Messort 0: 50 cm in Richtung Boden
^{**))} Mitte oberer Tragzapfen
- 2) Ebene für Vergleichsmessungen $\Rightarrow$ MP3

Vergleichsmessungen am Messort MP2
(Deckelmitte)

Messgerät	Werte
Harwell N91	1539 Imp. Messdauer: 1290 s
LB 6411	3,51 Imp/s Messdauer: 1200 s Fehler: 1,5%
NG2	4,0 $\mu\text{Sv/h}$
FHT 750	5,09 $\mu\text{Sv/h}$
2202D (88007)	4,0 $\mu\text{Sv/h}$
2202D (88008)	4,5 $\mu\text{Sv/h}$
FH 40	$13 \pm 1 \mu\text{Sv/h}$
AD5	$11 \mu\text{Sv/h} \pm 2\%$
Szintomat	11 $\mu\text{Sv/h}$
RGD 27040	11 $\mu\text{Sv/h}$

Vergleichsmessungen am Messort MP3

Messgerät	Werte
Harwell N 91	4617 Imp. Messdauer: 480 s 2296 Imp. Messdauer: 240 s
LB 6411	30,7 Imp/s Messdauer: 300 s Fehler: 1,0% 29,2 Imp/s Messdauer: 300 s Fehler: 1,1% 28,6 Imp/s Messdauer: 300 s Fehler: 1,1% 28,6 Imp/s Messdauer: 300 s Fehler: 1,1%
NG2	34,5 $\mu\text{Sv/h}$ 52 $\mu\text{Sv/h}$ - γ -Dosisleistung
FHT 750	36,4 $\mu\text{Sv/h}$
2202D (88007)	30 $\mu\text{Sv/h}$
2202D (88008)	32 $\mu\text{Sv/h}$
FH 40	80,5 $\pm$ 2,5 $\mu\text{Sv/h}$
AD5	75 $\mu\text{Sv/h} \pm 3\%$
Szintomat	65 $\mu\text{Sv/h}$
RGD 27040	63 $\mu\text{Sv/h}$

Vergleichsmessungen am Messort MP5
(2 m Abstand)

Messgerät	Werte
Harwell N91	1097 Imp. Messdauer: 300 s
LB 6411	10,3 Imp/s Messdauer: Fehler: 1,3%
NG2	$13,9 \pm 0,2 \mu\text{Sv/h}$
FHT 750	$13,5 \mu\text{Sv/h}$
2202D (88007)	$10 \mu\text{Sv/h}$
2202D (88008)	$10 \mu\text{Sv/h}$
FH 40	$37 \pm 2 \mu\text{Sv/h}$
AD5	$35 \mu\text{Sv/h}$
Szintomat	$28,5 \pm 0,5 \mu\text{Sv/h}$
RGD 27040	$32 \mu\text{Sv/h}$

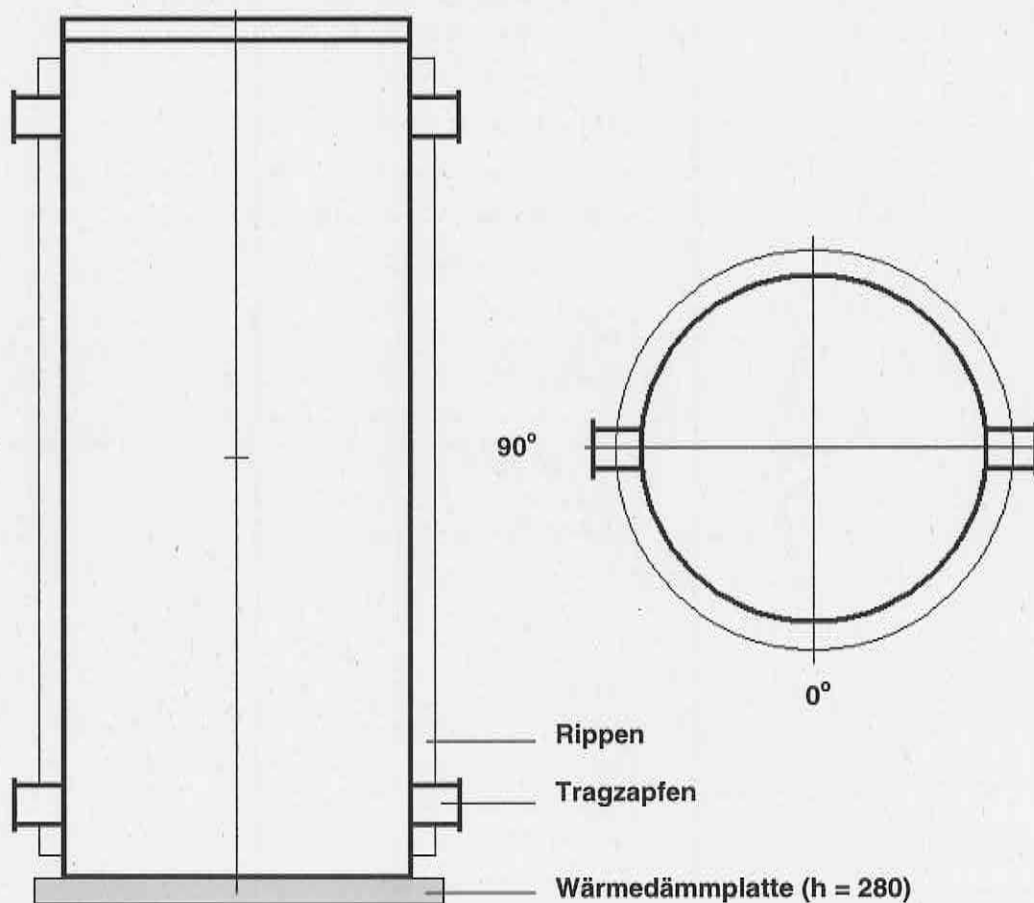
Sonstige Messungen:Messungen von γ -Hot Spots

Messort	FH 40
(Oberfläche direkt, 270°-Achse, Behälter unten)	[μ Sv/h]
vor -5 (in Richtung -4)	40
untere Abfräsung	250
Abfräsung direkt	100
linker Rand 1. Rippe	750

Messort	FH 40
(Oberfläche direkt, 270°-Achse, Behälter oben)	[μ Sv/h]
(+4)	850
rechts neben letzter Rippe in Richtung (+4)	750
(+4) + 10 cm	900
(+4) + 20 cm	600
(+4) + 10 cm in Richtung 0° (Oberseite)	680
(+4) + 20 cm in Richtung 0° (Oberseite)	450
(+4) - 10 cm in Richtung 180° (Unterseite)	680
(+4) - 20 cm in Richtung 180° (Unterseite)	300

Ort: Brennelementlager Gorleben
Zeit: 08./09.04.1997
Behälter: CASTOR HAW-20/28-CG-03
(Lagerkonfiguration)
Teilnehmer: Börst
Scheib

Skizze:



Messgeräte:

	Geräte- nummern	Kalibrierfaktoren nach Hersteller	Kalibrierfaktoren nach PTB (Am-Be)
BfS:			
Harwell N9	011	1 Imp. = 1,1574 nSv	1,23
Harwell 0949	H31	1 Imp. = 1,1574 nSv	1,53
NG2 („Snoopy“)	NG-195101		1,013
LB 6411 ¹⁾	4670-1001	Anzeige in [Imp/s] · 1,4 = Dosisleistung in [µSv/h]	0,845
FHT 750 („Biorem“) ²⁾			
FH 40 F2	006914		
AD5			
Szintomat 6134A	77761		
BLG:			
NM2			
LB 6411 ¹⁾		Anzeige in [Imp/s] · 1,27 = Dosisleistung in [µSv/h]	

¹⁾ Kalibrierung auf H'(10) - AmBe²⁾ Kalibrierung auf H'(10) - ²⁵²Cf

sonstige Geräte gemäß Herstellerangaben

Höhenprofil

Messort ¹⁾	Harwell N 91		Harwell 0949		FH 40	Szintomat
[cm]	Impulse	Zeit [s]	Impulse	Zeit[s]	[μ Sv/h]	[μ Sv/h]
77	4403 4252	180 182	2609	120	88 ± 3	70
100	4810	180	2985	120	39 ± 1	35
125	2990	105	2377	90	$37,5 \pm 2,5$	38
150	3052	105	3203	120	$39,5 \pm 2,5$	38
175	5984	225	3197	120	$34,5 \pm 1,5$	40
200	3801	151	4383	180	29 ± 2	28
225	6022	240	2783	120	$30,5 \pm 1,5$	29
250	5041	210	3281	140	30 ± 1	28
275	3536	150	3124	140	$29,5 \pm 1,5$	29
300	2762	120	2110	100	23 ± 1	22
325	2158	120	2059	100	23 ± 2	21
350	2477	120	2359	120	$23,5 \pm 1,5$	23
375	2501	120	2255	120	24 ± 2	23
400	2424	120	2204	120	$23,5 \pm 1,5$	22
425	3985	210	2122	120	20 ± 1	20
450	2387	120	2258	120	$22,5 \pm 1,5$	20

1) Messort: 30°-Achse, 30 cm Abstand von Rippenoberkante zur Kugelmitte bzw. Detektor
Höhe über Boden TBL (Behälter steht auf Wärmedämmplatte h= 28 cm)

Radialprofil

Messort ¹⁾	Harwell N 91		Harwell 0949		FH 40	Szintomat
Winkel [°]	Impulse	Zeit [s]	Impulse	Zeit[s]	[μ Sv/h]	[μ Sv/h]
0	3045	105	4938	180	46,5 $\pm$ 1,5	38
15	2624	90	2542	90	47,5 $\pm$ 2,5	38
30	2726	90	2565	90	49,5 $\pm$ 2,5	40
45	2534	90	2456	90	46 $\pm$ 2	39
60	4292	150	4316	160	46 $\pm$ 2	37
75	3351	120	3194	120	44 $\pm$ 2	38
90	2603	90	2335	89	48,5 $\pm$ 2,5	40
105	2473	90	2297	90	46,5 $\pm$ 2,5	38
120	2336	90	2199	90	42 $\pm$ 2	31
135	2272	90	2163	90	37,5 $\pm$ 1,5	29
150	2267	90	2640	115	40,5 $\pm$ 2,5	31
165	2216	90	2097	90	37 $\pm$ 2	30
180	2104	90	2294	100	35 $\pm$ 3	29
195	2444	105	2659	120	37,5 $\pm$ 2,5	30
210	2395	105	2285	100	41 $\pm$ 3	32
225	2195	90	2110	90	39 $\pm$ 2	31
240	2605	105	2294	100	39 $\pm$ 3	31
255	2350	90	2940	120	42,5 $\pm$ 2,5	38
270	2414	90	2326	90	49,5 $\pm$ 2,5	40
285	2487	90	2274	90	45,5 $\pm$ 2,5	38
300	2500	90	2353	90	44,5 $\pm$ 2,5	38
315	2924	105	2541	100	46 $\pm$ 3	39
330	2493	90	2416	90	47,5 $\pm$ 2,5	41
345	3425	120	2755	100	46,5 $\pm$ 3,5	38
360	2600	90	2160	80	48 $\pm$ 2	38

1) Messort: 30 cm Abstand von Rippenoberkante zur Kugelmittle bzw. Detektor
 132 cm über Boden TBL (Behälter steht auf Wärmedämmplatte h= 28 cm)
 (Winkel linksläufig)

Abstandsmessungen

(Ebene 306 cm (incl. Wärmedämmplatte))

Abstand	Harwell N 91		Harwell 0949		FH 40	AD5	Szintomat
	Impulse	Zeit [s]	Impulse	Zeit [s]	[μ Sv/h]	[μ Sv/h]	[μ Sv/h]
1000	1999	1260	1893	1300	$2,2 \pm 0,2$		$2,7 \pm 0,1$
1000 *)	3073	2700			$2,25 \pm 0,25$		$2,1 \pm 0,1$
2000	1193	2161	1099	2200	$1,3 \pm 0,1$	$1,33 \pm 2,5\%$	$1,15 \pm 0,15$
2000 *)	559	1440			$1,0 \pm 0,2$		$1,0 \pm 0,1$
3000	480	1980	503	2015	$0,85 \pm 0,25$	$0,7 \pm 2\%$	$0,65 \pm 0,05$

*) Messgeräte am Boden stehend

Vergleichsmessungen am Messort MP1
(Deckelrand, 30 cm über Deckel, Achse 30°)

Messgerät	Werte
Harwell N91	2706 Imp. Messdauer: 95 s
Harwell 0949	2911 Imp. Messdauer: 97 s
LB 6411	89,5 $\mu\text{Sv/h}$
LB 6411 (BLG)	81 $\mu\text{Sv/h}$
NG2	99 $\mu\text{Sv/h}$
NM2	98,2 $\mu\text{Sv/h}$
FHT 750	93 $\mu\text{Sv/h}$
FH 40	2,3 $\mu\text{Sv/h}$

Vergleichsmessungen am Messort MP2
(Deckelmitte, 32 cm Abstand Oberfläche zur Kugelmitte)

Messgerät	Werte
Harwell N91	1799 Imp. Messdauer: 186 s
Harwell 0949	1552 Imp. Messdauer: 163 s
LB 6411	30,5 $\mu\text{Sv/h}$
LB 6411 (BLG)	27,0 $\mu\text{Sv/h}$
NG2	30 $\mu\text{Sv/h}$
NM2	31 $\pm$ 2 $\mu\text{Sv/h}$
FHT 750	35 $\pm$ 0,5 $\mu\text{Sv/h}$
FH 40	3,3 $\mu\text{Sv/h}$

Vergleichsmessungen am Messort MP3

(30°-Achse, Behälter halbe Höhe - 306 cm incl. Wärmedämmplatte)

Messgerät	Werte
Harwell N91	2279 Imp. Messdauer: 105 s
Harwell 0949	2243 Imp. Messdauer: 110 s
LB 6411	96,0 $\mu\text{Sv/h} \pm 1,6\%$
LB 6411 (BLG)	77,0 $\mu\text{Sv/h} \pm 1,8\%$
NG2	72,5 $\mu\text{Sv/h}$
NM2	72,2 $\mu\text{Sv/h}$
FHT 750	85,4 $\mu\text{Sv/h}$
AD5	29 $\mu\text{Sv/h} \pm 2\%$

Vergleichsmessungen am Messort MP5

(2 m Abstand; 0°-Achse, Behälter halbe Höhe - 306 cm incl. Wärmedämmplatte)

Messgerät	Werte
Harwell N91	1834 Imp. Messdauer: 240 s
Harwell 0949	2003 Imp. Messdauer: 218 s
LB 6411	39,0 $\mu\text{Sv/h}$
LB 6411 (BLG)	32,5 $\mu\text{Sv/h}$
NG2	31 $\mu\text{Sv/h}$
NM2	31 $\pm$ 2,5 $\mu\text{Sv/h}$
FHT 750	34,5 $\mu\text{Sv/h}$
FH 40	14 $\mu\text{Sv/h}$

Vergleichsmessungen am Messort MP6

(5 m Abstand; 0°-Achse, Behälter halbe Höhe - 306 cm incl. Wärmedämmplatte)

Messgerät	Werte
Harwell N91	1246 Imp. Messdauer: 300 s
Harwell 0949	1111 Imp. Messdauer: 300 s
LB 6411	17,2 Imp/s Messdauer: 200 s Fehler: 2,0%
LB 6411 (BLG)	10,6 Imp/s Messdauer: 200 s Fehler: 2,2%
NG2	15 μ Sv/h
NM2	14,4 $\pm$ 0,4 μ Sv/h
FHT 750	14,4 μ Sv/h
Szintomat	7,0 μ Sv/h
FH 40	6,8 $\pm$ 0,2 μ Sv/h

Sonstige Messungen:

Mitte Tragzapfen, unten - (270°-Achse, 30 cm Abstand von Rippenoberfläche zur Kugelmitte, das entspricht 24 cm von Tragzapfenoberfläche zur Kugelmitte, Höhe über Boden - incl. Wärmedämmplatte 50 cm):

Messgerät	Werte
Harwell N 91	3158 Imp. Messdauer: 195 s
Harwell 0949	2089 Imp. Messdauer: 135 s
FH 40	$18 \pm 1 \mu\text{Sv/h}$
Szintomat	$18 \mu\text{Sv/h}$

Tragzapfen, unten - (270°-Achse, 30 cm Abstand von Rippenoberfläche zur Kugelmitte, das entspricht 24 cm von Tragzapfenoberfläche zur Kugelmitte, Höhe über Boden - incl. Wärmedämmplatte 80 cm):

Messgerät	Werte
Harwell N 91	2674 Imp. Messdauer: 120 s
Harwell 0949	2088 Imp. Messdauer: 100 s
FH 40	$60 \pm 5 \mu\text{Sv/h}$
Szintomat	$51 \mu\text{Sv/h}$

**Liste der bisher erschienenen
BfS-ET-Berichte**

BfS-ET-1/90

Brennecke, P.; Schumacher, J.

Anfall radioaktiver Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland - Abfallerhebung für das Jahr 1989 - Braunschweig 1990

BfS-ET-2/90

Fortschreibung des Zusammenfassenden Zwischenberichtes über bisherige Ergebnisse der Standortuntersuchung Gorleben im Mai 1983. Salzgitter 1990

BfS-ET-3/90

Brennecke, P.; Wamecke, E.

Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle (Vorläufige Endlagerungsbedingungen, Stand: April 1990) - Schachtanlage Konrad -. Salzgitter, April 1990

BfS-ET-3/90-REV-1

Brennecke, P.; Wamecke, E.

Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle (Vorläufige Endlagerungsbedingungen, Stand: April 1990 in der Fassung Juli 1991) - Schachtanlage Konrad -. Salzgitter, Juli 1991

BfS-ET-3/90-REV-2

Brennecke, P. (Hrsg.)

Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle (Vorläufige Endlagerungsbedingungen, Stand: April 1990 in der Fassung Oktober 1993) - Schachtanlage Konrad -. Salzgitter, Oktober 1993

BfS-ET-3/90-REV-3

Brennecke P. (Hrsg.)

Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle (Endlagerungsbedingungen, Stand: September 1994) - Schachtanlage Konrad -. Salzgitter, September 1994

BfS-ET-4/90

Brennecke, P.; Wamecke E.

Requirements on radioactive wastes for disposal. Aktualisierter PTB-Bericht PTB-SE-17. Im Druck

BfS-ET-5/90

Berg, H.P.

Vereinfachte Überprüfung der Einhaltung von Aktivitätsbegrenzungen für in das Endlager Konrad einlagerbare Abfallgebinde auf der Basis der Neufassung der Strahlenschutzverordnung.

Salzgitter, April 1990

BfS-ET-5/90-REV-1

-. Erste revidierte Auflage von BfS-ET-5/90. Salzgitter, August 1991

BfS-ET-6/90

Berg, H.P.; Brennecke, P.

The Konrad Mine. The Planned German Repository for Radioactive Waste with Negligible Heat Generation. Salzgitter 1990

BfS-ET-7/90

Berg, H.P.; Lange, F.

Vorgehensweise bei der Ableitung von Aktivitätsgrenzwerten aus den Ergebnissen der Störfallanalysen und Auswirkungen der Revision der Strahlenschutzverordnung und der zugehörigen Berechnungsgrundlagen. Salzgitter, August 1990

BfS-ET-8/91

Piefke, F.; Wollrath, J.

Berechnung der Diffusion von Wasserstoff aus einer Einlagerungskammer in das umgebende Gestein.

Analytische Lösungen der zeitabhängigen Diffusionsgleichung im Außenraum eines unendlich langen Zylinders, im Halbraum, in einer Wand und im Außenraum einer Kugel mit konstanten Konzentrationen an den Rändern.

Salzgitter, April 1991

BfS-ET-9/91

Berg, H.P.; Fischer, H.; Piefke, F.

ANKONA. Programm zur rechnerischen Überprüfung an im geplanten Endlager Konrad einzulagernde radioaktive Abfälle. Version November 1990. Salzgitter, Mai 1991

BfS-ET-10/91

Brennecke, P.; Martens, B.-R. (Hrsg.)

Endlagerungsbedingungen und Produktkontrolle. Salzgitter, Juli 1991

BfS-ET-11/91

Wamecke, E.; Hollmann, A.

Anfall radioaktiver Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland - Abfallerhebung für das Jahr 1990 -. Salzgitter, Oktober 1991

BfS-ET-12/92

Kugel, K.; Brennecke, P.; Giller, H. (Hrsg.)

Entsorgung radioaktiver Abfälle.

Vorträge der Informationsveranstaltung am 25. und 26. November 1991 im BfS, Berlin.

Salzgitter, Juni 1992

BfS-ET-13/92

Wollrath, J.; Arens, G.

INTRAVAL Phase 2: Untersuchungen zum Einfluß der Dichteschichtung auf das Strömungsverhalten am Beispiel des Pumpversuchs "Weißes Moor".
Salzgitter, Juni 1992

BfS-ET-14/92

Kugel, K.; Noack, W.; Giller, H. (Bearbeiter)
Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle und Maßnahmen zur Produktkontrolle radioaktiver Abfälle. Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM), Stand: Juli 1992.
Salzgitter, Juli 1992

BfS-ET-14/92-REV-1

Kugel, K.; Noack, W.; Bard, Ch.; Giller, H.; Martens, B.-R. (Bearbeiter)
Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle und Maßnahmen zur Produktkontrolle radioaktiver Abfälle. Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM). Stand: November 1992.
Salzgitter, März 1993

BfS-ET-14/92-REV-2

Kugel, K.; Noack, W.; Bard, Ch.; Giller, H.; Martens, B.-R.; Brennecke, P. (Bearbeiter)
Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle und Maßnahmen zur Produktkontrolle radioaktiver Abfälle. Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM). Teil I: Endlagerungsbedingungen.
Stand: September 1993.
Salzgitter, September 1993

BfS-ET-15/92

Börst, F.-M.; Rimpler, A.
Strahlungsmessung an einem Transportbehälter für die Beförderung abgebrannter Brennelemente.
Salzgitter, November 1992

BfS-ET-16/92

Wollrath, J.; Arens, G.
INTRAVAL Phase 2: Investigations into the influence of the density stratification on groundwater flow by the example of pumping test "Weisses Moor".
Salzgitter, November 1992

BfS-ET-17/93

Hollmann, A.; Brennecke, P.
Aufkommen radioaktiver Abfälle in Deutschland. Abfallerhebung für das Jahr 1991.
Salzgitter, Februar 1993

BfS-ET-18/93

Hollmann, A.; Tittel, G. (Hrsg.)
Nuklidmigration im Deckgebirge des Endlagerortes Gorleben.
Vorträge eines Fachgespräches zu Fragen des Radionuklidmigration und Langzeitsicherheit des

geplanten Endlagers Gorleben am 3. Juni 1992 im Bundesamt für Strahlenschutz.
Salzgitter, November 1993

BfS-ET-19/94

Martens, B.-R. (Hrsg.)
Produktkontrolle radioaktiver Abfälle - Schachtanlage Konrad-. Stand: Januar 1994.
Salzgitter, Januar 1994

BfS-ET-20/94

Hollmann, A.
Aufkommen radioaktiver Abfälle in Deutschland. Abfallerhebung für das Jahr 1992.
Salzgitter, Januar 1994

BfS-ET-21/94

Ehrlich, D.; Theis, K.-P.; Wohanka, A.
Beschreibung und Ergebnisse der Wetterstation am Schacht Konrad 1 für die Jahre 1985 bis 1990.
Salzgitter, Februar 1994

BfS-ET-22/95

Brennecke, P.; Hollmann, A.
Anfall radioaktiver Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland. Abfallerhebung für das Jahr 1993.
Salzgitter, Mai 1995

BfS-ET-23/96

Brennecke, P.; Hollmann, A.
Anfall radioaktiver Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland. Abfallerhebung für das Jahr 1994.
Salzgitter, September 1996

BfS-ET-24/97

Heimlich, F.H. (Hrsg.)
Messungen im Neutronen- und Gamma-Strahlungsfeld eines beladenen Castor-IIa-Behälters im Transportbehälterlager Gorleben und Vergleich der Meßergebnisse für Neutronen mit Monte-Carlo-Rechnungen.
Salzgitter, Januar 1997

BfS-ET-25/97

Brennecke, P.; Hollmann, A.
Anfall radioaktiver Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland. Abfallerhebung für das Jahr 1995.
Salzgitter, Januar 1997

BfS-ET-26/98

Ehrlich, D.; Kunze, V.; Theis, P.
Auswertung der meteorologischen Meßwerte der Wetterstation am Standort des Erkundungsbergwerks Gorleben für die Jahre 1988 bis 1996.
Salzgitter, April 1998

BfS-ET-27/98

Ehrlich, D.; Kunze, V.; Theis, P.

Auswertung der meteorologischen Meßwerte der Wetterstation am Standort des geplanten Endlagers Konrad (Schacht 1) für die Jahre 1991 bis 1996 (Fortsetzung des Berichtes für die Jahre 1985 bis 1990).

Salzgitter, Juni 1998

BfS-ET-28/99

Brennecke, P.; Hollmann, A.

Anfall radioaktiver Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland. - Abfallerhebung für das Jahr 1996 -

Salzgitter, Juli 1999

BfS-ET-29/99

Brennecke, P.; Hollmann, A.

Anfall radioaktiver Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland. - Abfallerhebung für das Jahr 1997. -

Salzgitter, August 1999

BfS-ET-30/00

Brennecke, P.; Hollmann, A.

Anfall radioaktiver Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland. - Abfallerhebung für das Jahr 1998. -

Salzgitter, Dezember 1999

BfS-ET-31/00

Börst, F.-M.; Fasten, Ch.

Empfehlungen für die sichere Beförderung von radioaktiven Stoffen

in der Fassung 1996

deutsche Übersetzung der Abschnitte I bis VIII der „IAEA Safety Standards Series No. ST-1“.

Salzgitter, Juli 2000

BfS-ET-32/00

Börst, F.-M.; Rimpler, A.; Scheib, H.

Strahlungsmessungen an Transport- und Lagerbehältern zur Beförderung von hochaktiven Glas- und keramischen Brennelementen aus der Wiederaufarbeitung und von bestrahlten Brennelementen.

Salzgitter, Juli 2000

