

Messungen von Neutronenstrahlung an Behältern vom Typ TN 85

Dannenberg, November 2008

Bericht für Greenpeace Deutschland e.V.

(beruhend auf Messbericht Nov. 2005, Verfasser: Dr. H. Hirsch / Dipl.-Phys. Oda Becker)

V-Prof. Dipl.-Phys. Oda Becker
Dipl.-Phys. Heinz Smital

Hannover, 24. November 2008

Inhalt:

ZUSAMMENFASSUNG	2
1. EINLEITUNG	3
2. EINGESETZTE MESSTECHNIK.....	4
3. MESSUNGEN	5
4. DISKUSSION DER ERGEBNISSE	6
4.1 VERGLEICH MIT DER NEUTRONEN-HINTERGRUNDSTRAHLUNG.....	6
4.2 VERGLEICH MIT DEN MESSUNGEN DER NEUTRONENSTRAHLUNG IM JAHR 2005	6
4.3 EINHALTUNG DES VERKEHRSRECHTLICHEN GRENZWERTES IN 2 M ABSTAND	7
ANHANG: ZUSAMMENSTELLUNG DER MESSERGEBNISSE	9

Zusammenfassung

Am 10. November 2008 wurde in der Nähe des Verladebahnhofs in Dannenberg die Neutronenstrahlung der elf französischen Behälter vom Typ TN 85 gemessen, die von La Hague nach Gorleben transportiert wurden. Die Messung erfolgte in einer Entfernung von 14 m.

Die Konzentration auf Neutronenstrahlung erfolgte, weil diese im Strahlungsfeld von Behältern mit HAW-Kokillen gegenüber der Gamma-Strahlung dominiert.

Die Messungen erfolgten mit einer Neutronensonde vom Typ LB 6411 und dem dazugehörigen Monitor UMo LB 123 der Firma EG&G Berthold. Dieses Gerät ist für die Erfassung des für diese Behälter typischen Neutronenspektrums gut geeignet.

Die wichtigsten Messergebnisse sind:

- Die Neutronen-Dosisleistung liegt in einer Entfernung von 14 m seitlich vom Zug bei dem 500fachen der unmittelbar vorher dort gemessenen natürlichen Neutronenstrahlung.
- Die gemessene Neutronenstrahlung lag im Mittel um ca. 45% höher als während des Transports im Jahr 2005.
- Der verkehrsrechtliche Grenzwert in einem Abstand von zwei Metern vom Transportfahrzeug ist laut offiziellen Messungen eingehalten. Eine eigene Messung in diesem Abstand war nicht möglich. Anhand der Messwerte in einem Abstand von 14 m ist jedoch von einer Unterschreitung der Grenzwerte auszugehen.
- Bei Bewertung der Gefährlichkeit von Neutronenstrahlung nach der derzeit gültigen Strahlenschutzverordnung wird der verkehrsrechtliche Grenzwert maximal zu ca. 80 % erreicht. Die Gefährdung durch Neutronenstrahlung wurde erst vor einigen Jahren nach oben revidiert. Weitere Revisionen aufgrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse sind für die Zukunft nicht auszuschließen.

1. Einleitung

In der Zeit vom 7. bis 11. November 2008 fand ein Transport von verglasten hochradioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitungsanlage La Hague (Frankreich) ins Zwischenlager Gorleben statt.

Es wurden insgesamt elf Behälter vom Typ TN 85 transportiert. Ein solcher Behälter kann – ebenso wie der in den Jahren zuvor verwendete CASTOR HAW-20/28 CG – insgesamt 28 HAW (high active waste)-Glaskokillen aufnehmen. Der TN 85 hat beladen ein Gesamtgewicht von ca. 112 Tonnen¹.

Die von der französischen Firma TN entwickelten Behälter der Baureihe TNTM85 wurden im Jahr 2008 erstmals eingesetzt. Die Entwicklung neuer Behälter war erforderlich geworden, da das höhere radioaktive Inventar der abgebrannten Brennelemente aufgrund der Steigerung der Endladeabbrände auch zu einem höheren radioaktiven Inventar der Glaskokillen führt. Die HAW-Kokillen senden deshalb eine höhere Strahlung aus und entwickeln mehr Wärme.

Die Herstellerfirma GNS konnte die zur Genehmigung der neuen Behälter erforderlichen Sicherheitsnachweise für den neu entwickelten CASTOR HAW 28 M bisher nicht erbringen, so dass der Transport 2008 in dem französischen Behältertyp TN 85 erfolgen musste.

Die Behälter gelangten per Bahn auf ca. 20 m langen Spezialwaggons nach Deutschland. Endpunkt der Bahnfahrt war Dannenberg, wo für die letzte Etappe des Transports zum Zwischenlager eine Umladung auf Tieflader-LKW erfolgte.

Behälter, die mit abgebrannten Brennelementen aus Atomkraftwerken oder mit HAW-Kokillen aus der Wiederaufarbeitung beladen sind, senden Neutronen- und Gamma-Strahlung aus. (Im Inneren des Behälters werden außerdem Alpha- und Beta-Strahlung frei, die aber durch die Behälterwände vollständig abgeschirmt werden.)

Um Daten über die Intensität der Neutronen-Strahlung in der Umgebung der Behälter zu erhalten, die den realen Bedingungen beim Transport entsprechen, wurden vom 8. bis 10. November 2008 mit einem Neutronenmessgerät von Greenpeace Messungen in Dannenberg durchgeführt.

Die (ausschließliche) Messung der Neutronen-Strahlung erfolgte aus zwei Gründen:

- Bei Ermittlung der Neutronendosisleistung (Äquivalentdosisleistung) nach der zurzeit gültigen deutschen Strahlenschutzverordnung dominiert die Neutronen-Strahlung gegenüber der Gamma-Strahlung in der Umgebung eines mit HAW-Kokillen befüllten Behälters. (Beim CASTOR HAW-20/28 etwa im Verhältnis 4 zu 1².) Beim Transport von abgebranntem Kernbrennstoff überwiegt in den meisten Fällen die Gamma-Strahlung³.

¹ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS): Transport- und Einlagerungskampagne Gorleben, November 2008; unter www.grs.de, eingesehen im November 2008

² Börst, F.-M. et al.: Strahlungsmessungen an Transport- und Lagerbehältern zur Beförderung von hochaktiven Glaskokillen aus der Wiederaufarbeitung und von bestrahlten Brennelementen; Bundesamt für Strahlenschutz, BfS-ET-32/00, Salzgitter 2000, Tabelle 3

³ Schwarz, G.: Sicherheitsanalyse zur bestimmungsgemäßen Beförderung von radioaktiven Abfällen und bestrahlten Brennelementen in der Region Gorleben; Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, GRS-A-2814, August 2000, Abbildung 7

- Die biologische Wirksamkeit der Neutronen-Strahlung, ausgedrückt durch so genannte Wichtungsfaktoren, die von der Energie der Neutronen abhängen, war in der Vergangenheit Gegenstand wissenschaftlicher Kontroversen. Im Jahre 2001 wurden diese Wichtungsfaktoren in der neuen Fassung der deutschen Strahlenschutzverordnung bereits hinaufgesetzt. Dabei verbleiben Unsicherheiten; es ist nicht auszuschließen, dass weitere Revisionen nach oben nötig werden. Das würde bedeuten, dass Neutronenstrahlung eine stärker schädigende Wirkung hat, als zurzeit angenommen wird.

Die Messungen fanden im Jahr 2008 ausschließlich bei der Einfahrt der beladenen Waggons auf den Verladebahnhof in Dannenberg statt. Messungen während des Verladens auf die LKW waren nicht möglich, da der Zugang zum Verladebahnhof durch Polizeikräfte abgesperrt war.

2. Eingesetzte Messtechnik

Die Messungen wurden mit einer Neutronensonde vom Typ LB 6411 sowie dem dazugehörigen Universellen Monitor für den Strahlenschutz Typ UMo LB 123 der Firma EG&G Berthold durchgeführt. Die Geräte waren voll funktionstüchtig (Überprüfung und Wartung durch den Hersteller erfolgte im September 2008).

Die Neutronensonde LB 6411 besteht aus einem zylindrischen Proportionalzählrohr, das mit He-3 gefüllt und von einer Moderator-Kugel aus Polyäthylen umgeben ist. Das Zählrohr ist hauptsächlich für thermische (langsame) Neutronen empfindlich. Damit auch Neutronen höherer Energie nachgewiesen werden können, müssen diese im Moderator abgebremst werden. Dies geschieht durch Kollision schneller Neutronen mit Atomkernen im Moderator-Material, wobei die Neutronen Energie verlieren.

Das Ansprechvermögen auf Neutronen eines breiten Energie-Spektrums wurde so optimiert, dass die Zählrate für jede Neutronenenergie möglichst gut der Äquivalentdosisleistung proportional ist⁴.

Das Gerät ist für Messungen im Neutronenfeld von Behältern mit hoch radioaktivem Material geeignet. Es unterschätzt allerdings die Dosisleistung bei der vorliegenden Energieverteilung systematisch um 10 – 20 %^{5,6}. Diese bekannte Abweichung kann bei der Auswertung der Ergebnisse korrigiert werden, indem diese durch einen Wert von 0,85 geteilt werden.

Gemessen wurde Impulsen pro Sekunden (IPS). Zur Ermittlung der Neutronen-Äquivalentdosisleistung gemäß der derzeit gültigen Fassung der deutschen Strahlenschutzverordnung in $\mu\text{Sv/h}$ (entsprechend einem Wichtungsfaktor für

⁴ Neutronensonde LB 64 11 – Betriebsanleitung; EG&G Berthold, 1. Ausgabe, Dezember 1995

⁵ Diese für CASTOR-Behälter älterer Bauart getroffene Aussage ist grob auf den Behälter TN 85 zu übertragen.

⁶ 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; BfS-ET-24/97, Salzgitter 1997

Neutronen von ca. 15 für das typische Neutronenfeld eines CASTOR HAW-20/28) sind die Ergebnisse in IPS mit dem Faktor 1,5 zu multiplizieren⁷.

Es ist davon auszugehen, dass für den TN 85 ein vergleichbares Neutronenfeld zugrunde gelegt werden kann. Die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit weist hinsichtlich der Gorleben-Transporte im November 2008 auf dieselben grundlegenden Sicherheitsanalysen hin, wie in den Jahren zuvor.

Die GRS hatte bereits im Jahr 2000 eingehende Sicherheitsuntersuchungen über die mit den Transporten nach Gorleben verbundenen Strahlenexpositionen der Bevölkerung sowie des Transport- und Begleitpersonals durchgeführt. Die Untersuchungsergebnisse sind in dem laut GRS nach wie vor aktuellen Bericht „Sicherheitsanalyse zur bestimmungsgemäßen Beförderung von radioaktiven Abfällen und bestrahlten Brennelementen in der Region Gorleben“, GRS-A-2814, August 2000, dokumentiert.

3. Messungen

Die Intensität der natürlichen Neutronen-Hintergrundstrahlung auf dem Dannenberger Bahnhof wurde durch Nullmessungen vom 8. bis 11. November 2008, vor dem Eintreffen des Zuges, ermittelt. Sie lag, bei variierenden Witterungsbedingungen, im Bereich von 0,005 bis 0,009 Impulsen pro Sekunde (IPS).

Bei der Ermittlung der Neutronenstrahlung an den Behältern war eine freie Auswahl der Messpunkte nach messtechnischen Gesichtspunkten nicht möglich.

Die Messungen wurden ausschließlich am Bahngleis rund 100 m westlich vom Verladebahnhof durchgeführt⁸. Die dortigen Messungen erfolgten im Freien – vor dem „Weißen Haus“ – in einem Abstand von 14 m senkrecht zu den beladenen Waggons.

Die Waggons wurden in drei Dreiergruppen und einer Zweiergruppe in langsamer Fahrt auf den Verladebahnhof gebracht.

Für jede dieser Gruppen wurde die Strahlung während der Vorbeifahrt (von Vorderkante der ersten Abdeckhaube bis Hinterkante der letzten Abdeckhaube des Behälters) gemessen. Bei den ersten beiden Dreiergruppen gab es jeweils einen kurzen Stopp (für ca. 160 bzw. für ca. 120 Sekunden), in denen der erste Waggon etwa in Höhe des Messgerätes stehen blieb.

Die Messergebnisse lagen für die Dreiergruppen im Bereich von 3,0 bis 3,2 IPS und für die Zweiergruppe bei 2,1 IPS. Umgerechnet nach derzeit gültiger deutscher Strahlenschutzverordnung entspricht das einer Neutronen-Dosisleistung von etwa 4,5 bis 4,8 $\mu\text{Sv/h}$ für die Dreiergruppen und von etwa 3,15 $\mu\text{Sv/h}$ für die Zweiergruppe.

Die Messwerte sind im Anhang zusammengestellt.

⁷ Der konventionelle vom Hersteller angegebene Kalibrierfaktor der Neutronensonde in Höhe von 1,27, dividiert durch die o. g. Korrektur der vorliegenden Neutronen-Energieverteilung ergibt etwa 1,5.

⁸ Messungen während des Verladens, wie sie 2005 durchgeführt worden waren, konnten 2008 nicht erfolgen, da das Gelände des Verladebahnhofs durch Polizeikräfte abgesperrt war.

4. Diskussion der Ergebnisse

4.1 Vergleich mit der Neutronen-Hintergrundstrahlung

Die gemessene Neutronen-Strahlung (in IPS=Impulse pro Sekunde) erhöhte sich während des Vorbeifahrens einer Dreiergruppe von Behältern gegenüber der Neutronen-Hintergrundstrahlung erheblich. Am gleichen Messort (14 m von den Behältern entfernt) wurden unmittelbar vor Ankunft des Zugs 0,005 IPS und bei der Vorbeifahrt 3,2 IPS gemessen.

Die Hintergrundstrahlung lag an den Messtagen insgesamt zwischen 0,005 und 0,009 IPS, der Mittelwert lag unter Berücksichtigung der vom Gerät angegebenen Fehlergrenzen bei $0,0062 \pm 0,002$ IPS. Der entsprechende Mittelwert der vorbeifahrenden Behälter-Dreiergruppe betrug $3,13 \pm 0,18$ IPS.

Im Mittel ist am Messort die Neutronenstrahlung während des Vorbeifahrens einer Dreiergruppe gegenüber der Neutronen-Hintergrundstrahlung um einen Faktor 500 erhöht.

Für diesen Vergleich wurden hier nur die Messungen der Dreiergruppen herangezogen, da diese das Vorbeifahren des Gesamtzugs besser repräsentieren, als die folgende Zweiergruppe.

Eine Person, die sich in einer Entfernung von 14 m vom vorbeifahrenden Transport-Zug aufhält, wird eine ähnliche bzw. eine etwas höhere Dosisleistung erhalten, da dann auch die jeweils weiter entfernt fahrenden Behälter zur Strahlendosis beitragen.

4.2 Vergleich mit den Messungen der Neutronenstrahlung im Jahr 2005

Die während des Transports 2008 gemessene Neutronenstrahlung ist gegenüber der Neutronenstrahlung während des Transports 2005 deutlich erhöht:

- Im Jahr 2005 lagen die Messwerte der damals vier gemessenen Dreiergruppen zwischen 2,0 und 2,3 IPS, im Mittel bei 2,15 IPS.
- Im Jahr 2008 ergaben sich für die drei Dreiergruppen Messwerte zwischen 3,0 und 3,2 IPS, der Mittelwert lag bei 3,13 IPS.
- Im Mittel ist die im Jahr 2008 vom Behälter ausgehende Neutronen-Strahlung um 45% höher als anlässlich während des Transports im November 2005.

Ein relativer Vergleich der Messergebnisse ist zulässig, da bei beiden Messungen eine Übereinstimmung hinsichtlich aller wesentlichen Randbedingungen bestand. Die Messungen erfolgten in beiden Jahren am selben Ort, in der gleichen Entfernung zu den Behältern und mit demselben Messgerät. Die Messbedingungen waren auch bezüglich der Anordnung der Behälter (langsame Vorbeifahrt in Dreiergruppen) identisch.

Hinsichtlich einer Abschätzung der Dosisleistung aus Neutronenstrahlung ergeben sich 2008 Werte zwischen 4,5 und 4,8 $\mu\text{Sv/h}$ (Mittelwert 4,7 $\mu\text{Sv/h}$). Im Jahr 2005 lagen die Werte zwischen 3,0 und 3,4 $\mu\text{Sv/h}$ (Mittelwert 3,2 $\mu\text{Sv/h}$).

4.3 Einhaltung des verkehrsrechtlichen Grenzwertes in 2 m Abstand

Entsprechend den geltenden Transportvorschriften darf in 2 m Abstand von der Oberfläche des Transportfahrzeuges eine Dosisleistung von 100 $\mu\text{Sv/h}$ nicht überschritten werden⁹. Dieser Grenzwert gilt für die Summe von Gamma- und Neutronen-Strahlung.

Nur in einer sehr groben Abschätzung könnte anhand der erfolgten Neutronen-Messungen die Einhaltung dieses Grenzwertes bei den im November 2008 nach Gorleben transportierten Behältern überprüft werden. Die Abschätzung soll an dieser Stelle nicht erfolgen, es soll lediglich ein grober Vergleich mit den von offizieller Seite angegebenen Messwerten vorgenommen werden.

In diesem Jahr hat das Niedersächsische Umweltministerium (NMU) während der Transporte die Ergebnisse von Messungen, die in Valogne (Frankreich) erfolgten, hinsichtlich der Einhaltung des Grenzwertes veröffentlicht¹⁰. Laut dieser Meldung lagen die Gesamtdosisleistungen der Behälter zwischen 60 und 80 $\mu\text{Sv/h}$. Im Verladebahnhof in Dannenberg wurde die Einhaltung des Grenzwertes erneut überprüft, allerdings nur stichprobenartig (drei von elf Behältern), die Messwerte stimmen fast überein.

Die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) veröffentlichte zusätzlich bereits im Vorfeld der Transporte die in Valogne gemessenen Werte für die elf Behälter in Abhängigkeit von der Entfernung bis zu einem Abstand von 20 m in Form einer Grafik¹¹. Die in dieser Grafik dargestellten Messwerte für einen Abstand von 2 m zu den Behältern entsprechen etwa den Angaben des NMU.

Die von Greenpeace gemessene Neutronen-Dosisleistung einer Behälter-Dreiergruppe in einem Abstand von 14 m betrug im Mittel etwa 4,7 $\mu\text{Sv/h}$. Die Gesamtdosisleistung aus Gamma- und Neutronenstrahlung kann daraus auf etwa 5,9 $\mu\text{Sv/h}$ abgeschätzt werden. Bei dieser Abschätzung wurde ein Verhältnis der Neutronen- zur Gammastrahlung von 4 zu 1 angenommen. Es muss zudem berücksichtigt werden, dass die gemessene Strahlung einer Dreiergruppe von Behältern zu einer Überschätzung der Dosisleistung eines Behälters führt. Diese Überschätzung kann nicht genau quantifiziert werden. Hier wird von einer Überschätzung von etwa 10 bis 20% ausgegangen. Somit kann die Gesamtdosisleistung eines Behälters in 14 m Abstand auf ca. 5 $\mu\text{Sv/h}$ abgeschätzt werden.

In der Grafik der GRS lassen sich in dieser Entfernung in etwa Dosisleistungen in Höhe von 6 bis 8 $\mu\text{Sv/h}$ ablesen. Damit ergibt sich eine verhältnismäßig gute Übereinstimmung der Werte. Daraus ist zu folgern, dass es aufgrund der von Greenpeace durchgeführten Messungen keinen Anhaltspunkt für eine Überschreitung des Grenzwertes bei Berücksichtigung der gültigen Strahlenschutzverordnung gibt.

⁹ Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR); Bundesgesetzblatt Jahrgang 2007 Teil II Nr. 27 Seite 1399

¹⁰ Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz: „CASTOR“-Transport; Pressemitteilung Nr. 78/2008 vom 10.11.2008

¹¹ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS): Gamma- und Neutronendosisleistung (ICRP 60) von $\text{TN}^{\text{TM}}85$ -Transportbehältern für radioaktive Abfälle, Herbst 2008; unter www.grs.de, eingesehen im November 2008

Bei der Bewertung der Strahlenbelastung ist allerdings die kontroverse wissenschaftliche Diskussion über die biologische Wirksamkeit von Neutronenstrahlung zu beachten. Der Neutronenwichtungsfaktor wird von einigen Wissenschaftlern für zu gering gehalten.

Der Grenzwert würde erreicht bzw. überschritten, wenn für die vom Behälter ausgesandten Neutronen ein nur geringfügig höherer Wichtungsfaktor anzusetzen wäre. Die deutsche Strahlenschutzkommission (SSK) berichtet von wissenschaftlichen Ergebnissen, die in die Richtung höherer Wichtungsfaktoren deuten. Sie kommt bei der Bewertung des Risikos durch Neutronenstrahlung im Jahr 2000 jedoch insgesamt zu dem Schluss, dass bei Berücksichtigung des derzeitigen Wissensstandes eine erneute Heraufsetzung der in der Strahlenschutzverordnung angesetzten Faktoren nicht erforderlich sei¹². Sie stellt fest, dass sich Unsicherheiten bei diesem Faktor allenfalls im Bereich von 30 Prozent bewegen.

Bei den im Jahr 2008 festgestellten, höheren Dosisleistungen der Behälter (bis zu 80 $\mu\text{Sv/h}$) und der damit deutlichen Annäherung an den Grenzwert von 100 $\mu\text{Sv/h}$ ist durch eine Korrektur des Wichtungsfaktors eine – erst nachträglich erkannte – Überschreitung des Grenzwerts denkbar. Denn falls aufgrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse der Wichtungsfaktor um 30 % auf den Faktor 20 angehoben werden müsste, was aufgrund der Ausführungen der SSK durchaus denkbar ist, wäre der Grenzwert bei mindestens einem der transportierten Behälter erreicht bzw. knapp überschritten¹³.

Die SSK stellte im Jahr 2008 weiterhin fest, dass sie auch künftig prüfen werde, ob neue Erkenntnisse zu einer Modifikation dieser Bewertung Anlass geben könnten¹⁴. Ob seit der zitierten Empfehlung der SSK eine Überprüfung erfolgte und wie gegebenenfalls das Ergebnis war, ist nicht bekannt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass ein Trend zu höheren Dosisleistungen aufgrund der wissenschaftlichen Erkenntnisse zur biologischen Wirksamkeit von Strahlung nicht vertretbar ist. Die tatsächliche Dosisleistung der Behälter sollte stattdessen deutlich verringert werden. Dies verlangt auch der Gesetzgeber in Form des Strahlenminimierungsgebotes in der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV):

§6 Vermeidung unnötiger Strahlenexposition und Dosisreduzierung

(1) Wer eine Tätigkeit nach § 2 Abs. 1 Nr. 1 plant oder ausübt, ist verpflichtet, jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt zu vermeiden.

*(2) Wer eine Tätigkeit nach § 2 Abs. 1 Nr. 1 plant oder ausübt, ist verpflichtet, jede Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls **auch unterhalb der Grenzwerte** so gering wie möglich zu halten.*

¹² Laut SSK-Empfehlung weisen die französischen Transportbehälter ein stärker moderiertes, d. h. ein gegenüber CASTOREN zu geringeren Neutronenenergien verschobenes Feld auf. Das würde eine Konservativität der verwendeten Wichtungsfaktoren bedeuten. Allerdings quantifiziert die SSK diese Aussage nicht, zudem ist nicht bekannt, inwieweit diese Aussage auch auf den neu entwickelten Behältertyp TN 85 zutrifft. Insofern wurde im Rahmen dieses Berichts von dieser Aussage kein Kredit genommen.

¹³ Bei dieser Abschätzung wurde ein Verhältnis der Neutronen- zur Gammastrahlung von 4:1 angenommen.

¹⁴ Strahlenschutzkommission: Bewertung des Risikos durch Neutronenstrahlung – Empfehlung; verabschiedet auf der 170. Sitzung der SSK am 07. Dezember 2000

Anhang: Zusammenstellung der Messergebnisse

1. Nullmessungen (natürlicher Neutronen-Hintergrund)

Die Messungen wurden vom 8. bis 10. November 2008 (mit Ausnahme von Messung 4) beim „Weißen Haus“ in Dannenberg durchgeführt. Das Gerät stand genau wie bei den Messungen der Behälter auf 1 m Höhe. Messung 4 erfolgte auf der Wiese südlich des Verladekrans, das Gerät stand dabei in etwa 30 cm Höhe.

Nr.	Datum	Uhrzeit	Messwert [IPS]	Messdauer [s]	Messfehler [%]	Bemerkungen
1	08.11.08	22:41	0,006	1800	39,2	Abend, Nebel, Weißes Haus
2	09.11.08	11:56	0,005	1900	33,3	Tag, bedeckt, Weißes Haus
3	09.11.08	13:07	0,006	1883	28,9	Tag, bedeckt, Weißes Haus
4	09.11.08	14:00	0,007	1800	28,9	Tag, bedeckt, Wiese
5	09.11.08	22:16	0,009	1800	25	Nacht, fast sternklar, Weißes Haus
6	10.11.08	01:30	0,005	1800	33,3	Nacht, bedeckt, unmittelbar vor Einfahrt der ersten Behälter

2. Messungen bei Vorbeifahrt der Behältergruppen:

Die Messungen erfolgten jeweils während der Vorbeifahrt ab Vorderkante der ersten Abdeckung bis Hinterkante der dritten bzw. zweiten Abdeckung (letzte Gruppe). Bei den ersten beiden Messungen kamen die Waggons für etwa zwei Minuten zum Stehen, nachdem der erste am Messgerät vorbeigefahren war.

Der minimale Abstand der Behälter betrug während der Messungen 14 m. Die Messungen wurden in 1 m Höhe durchgeführt, um den Einfluss kleiner Unebenheiten sowie der Streuung im Boden zu reduzieren. Zudem sollten die Messungen in einer für die Menschen relevanten Höhe durchgeführt werden. Alle Messungen erfolgten am 10.11.2008.

Nr.	Uhrzeit	Behälternummer	Messwert [IPS]	Messdauer [s]	Messfehler [%]	Bemerkungen
1	02:09	11/10/9	3,2	208	3,8	Stopp (160 s) des vorderen Waggons
2	05:36	8/7/6	3,2	160	4,4	Stopp (120 s) des vorderen Waggons
3	08:15	5/4/3	3,0	43	8,8	Ohne Stopp
4	11:24	2/1	2,1	34	12	Ohne Stopp, <u>Zweiergruppe</u>