



## Bericht

*Report*

### Umgebungsdosimetrie am Transportbehälterlager Gorleben (TBL)

Bericht über Messungen im Auftrag des Niedersächsischen Ministeriums  
für Umwelt und Klimaschutz

Auftrag vom 31. August 2011

Braunschweig, 2011-09-20

Siegel  
*Seal*



## Vorbemerkung

Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt wurde vom Land Niedersachsen, vertreten durch das Niedersächsische Ministerium für Umwelt und Klimaschutz, mit Dosismessungen am Transportbehälterlager Gorleben (TBL) beauftragt.

Dieser Bericht enthält eine kurze Beschreibung der eingesetzten Verfahren und eine Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse der Untersuchung. Wegen der außerordentlichen Dringlichkeit beschränkt er sich auf die Daten, die für Entscheidungen im Hinblick auf künftige Transporte von Containern benötigt werden. In einem ausführlichen Bericht wird später auf die Details eingegangen anhand derer die Messergebnisse vollständig und in nachvollziehbarer Form beschrieben werden.

## 1. Leistungsbeschreibung

Der Auftrag an die PTB umfasste folgende Messaufgaben:

1.1 Messung der Umgebungsäquivalentdosisleistung am Betriebsgeländezaun des TBL ("Referenzort") an einer Position in unmittelbarer Nähe des NLWKN Neutronendosimeters Nr. 12 am Messhaus 2 und in einer Höhe von etwa 1 m über dem Boden.

1.1.1: Neutronen: Messung der Umgebungsäquivalentdosisleistung für Neutronenstrahlung am Referenzort unter Berücksichtigung der Umgebungsäquivalentdosisleistung von Neutronen natürlichen Ursprungs (kosmische Strahlung) und Bestimmung der Umgebungsäquivalentdosisleistung von Neutronenstrahlung, die vom TBL ausgeht.

1.1.2: Gammastrahlung: Messung der Umgebungsäquivalentdosisleistung für Gammastrahlung am Referenzort unter Berücksichtigung der Umgebungsäquivalentdosisleistung von Gammastrahlung natürlichen Ursprungs und Bestimmung der Umgebungsäquivalentdosisleistung von Gammastrahlung, die vom TBL ausgeht.

1.2. Bestimmung des Orts mit der maximalen Umgebungsäquivalentdosisleistung am Betriebsgeländezaun auf der Nordseite in einer Höhe von 1 m über dem Boden.

1.2.1: Neutronen: Messung der Umgebungsäquivalentdosisleistung für Neutronenstrahlung an mindestens 8 Orten entlang des Zaunes mit einem kalibrierten Ortsdosisleistungsmessgerät. Zusätzlich werden Messungen in verschiedenen Abständen vom Zaun durchgeführt. Alle Anzeigen werden korrigiert bezüglich des Beitrags von Neutronen natürlichen Ursprungs (kosmische Strahlung).

1.2.2: Gammastrahlung: Messung der Umgebungsäquivalentdosisleistung für Gammastrahlung an mehreren Orten (7-10, abhängig von den lokalen Gegebenheiten) entlang des Zaunes und in verschiedenen Abständen vom Zaun mit kalibrierten Ortsdosisleistungsmessgeräten. Aus den Messergebnissen wird der Beitrag der Komponente natürlichen Ursprungs am Messhaus 2 bestimmt.

## 2. Messungen

### 2.1 Ablauf der Messungen

Vorbereitende Messungen wurden auf dem Gelände der PTB in Braunschweig vom 4.-8. September 2011 durchgeführt. Diese dienten der Funktionsprüfung der Messgeräte und der Bestimmung der Anzeigen durch die natürliche Komponente der Neutronenstrahlung.

Am Zaun des TBL in Gorleben wurden die Messungen für Neutronenstrahlung über den gesamten Zeitraum vom 9. September 2011, 15 Uhr, bis zum 13. September 2011, 16 Uhr, die für Gammastrahlung am 9. September 2011 von etwa 11 Uhr bis 17 Uhr durchgeführt.

Vom 14.-15. September wurden mit dem am TBL eingesetzten Neutronen-Ortsdosimeter weitere Kontrollmessungen auf dem PTB-Gelände durchgeführt, um die Anzeige durch die natürliche Komponente der Neutronenstrahlung weiter abzusichern.

## 2.2 Messorte

Die Messungen wurden im Bereich entlang des Betriebsgeländezauns auf der Nordseite durchgeführt, der den geringsten Abstand von der TBL Halle und den darin befindlichen Transportcontainern aufweist. Sofern nicht anders angegeben, wurden die Messungen in 1 m Höhe über dem Boden durchgeführt.

Die Ortsangabe bei den Messungen am Zaun bezieht sich auf die Neutronendosis-Messstelle Nr. 12, die sich etwa 4 m westlich von Messhaus 2 befindet. Positive Entfernungsangaben gelten für westliche Richtung. Das Spektrometer war bei +3.5 m aufgebaut. Dieser Ort wird im Folgenden als Referenzort bezeichnet, da hier die Umgebungsäquivalentdosis mit der geringsten Unsicherheit bestimmt wurde.



Messaufbau am Referenzort: Auf der linken Seite sieht man die Neutronendosis-Messstelle Nr. 12 (weiße Kugel), unter dem Zelt die in Aluminiumkisten befindlichen Detektoren des NEMUS Spektrometers. Das Messgerät für Gammastrahlung (weißer Kubus auf dem Boden) befand sich zum Zeitpunkt der Aufnahme noch nicht in der Messposition. Hinter dem Erdwall ist das Dach der TBL Halle zu erkennen.

Mit dem Neutronen-Ortsdosisleistungsmessgerät wurden Messungen an 10 verschiedenen Orten von -20 m bis +120 m entlang des Zauns und an 4 Orten senkrecht zum Zaun (etwa in Verlängerung der Achse der TBL Halle) durchgeführt.

Mit Dosisleistungsmessgeräten für Gammastrahlung wurde entlang des Zauns, und zwar bei etwa -75 m, -4 m (bei Messhaus 2) und +175 m (bei Messhaus 3) gemessen, wobei die Geräte jeweils in Richtung Erdwall und in Richtung Schotterweg (dieser verläuft parallel zum Erdwall unmittelbar nördlich vom Zaun) gerichtet wurden, um Hinweise auf Strahlung vom TBL und Strahlung anderen Ursprungs zu erhalten. Zusätzlich wurde an zahlreichen Orten auf dem Wall (also innerhalb des Betriebsgeländes), auf dem Schotterweg am Zaun und an einigen Orten in Richtung Wald gemessen.



Messaufbau mit dem von der PTB eingesetzten Neutronen-Ortsdosisleistungsmessgerät (rechts) und dem Messgerät für Gammastrahlung (links) in unmittelbarer Nähe der Neutronendosis-Messstelle Nr. 12 (weiße Kugel).

## 2.3 Referenzdosimetrie und Spektrometrie für Neutronenstrahlung

Das Vielkugelspektrometer (Bonnerkugel Spektrometer) NEMUS ist das Sekundärnormal der PTB zur Weitergabe der Einheit für die Umgebungsäquivalentdosis für Neutronenstrahlung in unbekanntem Strahlungsfeldern, wie zum Beispiel an Arbeitsplätzen und in der Umgebung. NEMUS besteht aus einem Satz von Moderatorokugeln. Im Zentrum jeder Kugel befindet sich ein Detektor, der die im Moderator abgebremsten Neutronen ("thermische" Neutronen) nachweist. NEMUS ist unempfindlich für andere Strahlenarten (z. B. Gammastrahlung).

Aus der Anzeige (Zählrate) der Detektoren wird mittels geeigneter mathematischer Verfahren ("Entfaltungsverfahren") die spektrale Neutronenfluenz gemessen. Durch Berücksichtigung von Fluenz-zu-Umgebungsäquivalentdosis Konversionsfaktoren (festgelegt von der Internationalen Strahlenschutzkommission, ICRP) wird aus dem gemessenen Spektrum die Umgebungsäquivalentdosisleistung berechnet. Zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen und internationale Vergleichsmessungen haben gezeigt, dass mit diesem Verfahren die Umgebungsäquivalentdosis mit einer relativen Unsicherheit von etwa 10% bestimmt werden kann.

Am Referenzort wurden mit NEMUS das Neutronenspektrum und die Umgebungsäquivalentdosisleistung gemessen. Dazu wurden 9 Moderatorokugeln und ein Detektor ohne Moderator eingesetzt. Die Messdaten von 6 Detektoren wurden simultan erfasst. Nach etwa der Hälfte der Messzeit erfolgte der Austausch einiger Moderatorokugeln.

## 2.4 Ortsdosimetrie für Neutronenstrahlung

Das verwendete Messgerät ist vom Typ Berthold Instruments LB6411 (Seriennummer 113969-1068). Es wurde vorab in den Referenzstrahlungsfeldern der PTB entsprechend der Norm ISO 8529 kalibriert. Der Kalibrierfaktor für das Strahlungsfeld einer  $^{252}\text{Cf}$  Neutronenquelle beträgt  $0,976 \pm 0,013$ .

Sorgfältige Untersuchungen mit diesem Gerät belegen, dass der Nulleffekt (Anzeige ohne Vorhandensein von Strahlung) kleiner als 2 nSv/h ist. Vor und nach der Messkampagne am Zaun des TBL wurde auf dem Gelände der PTB die Anzeige des Geräts in 1 m Höhe über dem Erdboden bestimmt, die zum überwiegenden Teil durch kosmische Strahlung und zu einem geringen Teil vom Nulleffekt des Geräts verursacht wird.

Mit diesem Gerät wurden Messungen an verschiedenen Orten entlang des Betriebsgeländezauns des TBL durchgeführt, um die Stelle mit der maximalen Umgebungsäquivalentdosisleistung zu bestimmen. Weitere Messungen, senkrecht zur Zaunrichtung, dienten der Abklärung der Abhängigkeit der Dosiswerte vom Abstand von der TBL Halle. Die Messdauer an jedem Ort betrug mindestens 4 Stunden. Sie wurde aufgeteilt in Intervalle von 20 Minuten, um aus der Schwankung der Messergebnisse in diesen Intervallen die statistische Unsicherheit des Anzeigewerts zu bestimmen.

## 2.5 Ortsdosimetrie für Gammastrahlung

Für die Messungen wurden zwei Szintillations-Dosimeter des Typs Automess 6150AD-b/E mit Anzeigergerät 6150AD5/E verwendet (Seriennummern 109295 mit 109681 und 109296 mit 109481). Die Dosimeter wurden rückführbar auf die Primärnormale der PTB kalibriert, dabei wurde auf die Strahlung einer umschlossenen  $^{226}\text{Ra}$ -Quelle korrigiert, da diese Strahlung repräsentativ für die natürliche Umgebungsstrahlung ist. Alle angegebenen Messwerte beinhalten diese Kalibrierung. Die Dosimeter messen neben der Photonenstrahlung auch die geladene Komponente der natürlichen Höhenstrahlung (bestehend aus Myonen und Elektronen). Sie sind jedoch unempfindlich für Neutronenstrahlung. Die Dosimeter zeigen eine verringerte Empfindlichkeit entgegen der Vorzugsrichtung, daher wurden Messungen jeweils in Richtung Erdwall und in Richtung Wald bzw. Schotterweg (dieser verläuft parallel zum Erdwall direkt am Zaun) durchgeführt, um Hinweise auf Strahlung vom TBL und ggf. Strahlung anderen Ursprungs zu erhalten.

Die Dosimeter messen die mittlere Umgebungsäquivalentdosisleistung durch Gammastrahlung (im Folgenden kurz Gamma-ODL genannt). Die Gamma-ODL durch natürliche Radioaktivität ist starken örtlichen und zeitlichen Schwankungen unterworfen. Örtliche Schwankungen ergeben sich aus der Bodenbeschaffenheit (über Erdboden ist die Gamma-ODL typischerweise deutlich kleiner als über Granitfels oder Schotter), zeitliche Schwankungen ergeben sich durch Regenfall (radioaktiv beladene Staubpartikel werden aus der Luft ausgewaschen und am Boden deponiert) oder Schneelage (Direktstrahlung aus dem Boden wird abgeschirmt). Um die zusätzliche, vom TBL ausgehende Gamma-ODL zu bestimmen, müssen Differenzmessungen durchgeführt werden. Von der Gesamt-Gamma-ODL muss die natürliche ODL subtrahiert werden. Dies ist am gleichen Messort nicht möglich, daher mussten Ersatz-Messorte gesucht werden, an denen die Strahlung vom TBL vernachlässigbar ist und trotzdem die Beschaffenheit der Umgebung vergleichbar ist. Zusätzlich wurde die Richtungsabhängigkeit der Dosimeter genutzt, um zwischen Strahlung aus der Richtung des TBL und Strahlung aus entgegengesetzter Richtung zu unterscheiden.

Alle Messungen der Gamma-ODL wurden am 09.09.2011 durchgeführt. Die Dauer jeder Einzelmessung wurde so gewählt, dass eine statistische Messunsicherheit kleiner als 1 % erreicht wurde. Die Messungen am Zaun wurden nicht nur an den Positionen der jeweiligen Messorte durchgeführt, sondern auch an mehreren Stellen einige wenige Meter voneinander entfernt, um kurzreichweitige lokale Einflüsse (z. B. Inhomogenitäten des Bodens, Bewuchs und Fremdkörper im Boden) zu berücksichtigen. Als Messwert für den jeweiligen Messort wurde dann der Mittelwert dieser Einzelmessungen bestimmt.

## 3. Ergebnisse

### 3.1 Referenzdosimetrie und Spektrometrie für Neutronenstrahlung

Vom 4. bis 8. September 2011 wurden mit dem Spektrometer NEMUS Messungen auf dem Gelände der PTB in Braunschweig durchgeführt. Am Messort gibt es keinen Beitrag von künstlicher Neutronenstrahlung. Somit sind die Anzeigen des Spektrometers ausschließlich durch die Höhenstrahlung verursacht.

Die Messungen am Zaun des TBL wurden vom 9. bis 13. September 2011 durchgeführt. Zur Analyse wurden von den dort gemessenen Zählraten diejenigen abgezogen, die mit gleicher Detektor-Moderatorkombination in der PTB gemessen wurden. Dabei wurden der Luftdruck bei den Messungen am Zaun des TBL und in der PTB und die Abhängigkeit der durch Höhenstrahlung verursachten Zählraten vom Luftdruck berücksichtigt. Hingegen spielen die geringen Unterschiede in der geografischen Breite und Höhe über Normalnull der beiden Messorte keine Rolle. Die durch die Differenz erhaltenen Netto-Zählraten entsprechen also den Anzeigen, die ausschließlich durch die Strahlung von der TBL Halle verursacht wird. Sie wurden verwendet, um das Neutronenspektrum der Strahlung vom TBL zu ermitteln.

Verschiedene Entfaltungsverfahren und Modellannahmen wurden für die Analyse genutzt. Daraus wurden Informationen über die Stabilität der Ergebnisse gewonnen und es wurde die Messunsicherheit ermittelt.

Das auf diese Weise ermittelte Spektrum zeigt einen sehr hohen Anteil an thermischen und epithermischen Neutronen. Diese Beobachtung stimmt mit der Annahme überein, dass das Strahlungsfeld am Zaun durch Neutronen verursacht wird, die in der Luft oberhalb der TBL Halle mehrfach gestreut werden ("Skyshine"). Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass die Direktstrahlung von der TBL Halle wegen der Abschirmwirkung des Erdwalls vernachlässigt werden kann.

Aus dem Neutronenspektrum wurde die Umgebungsäquivalentdosisleistung am Referenzort berechnet. Sie beträgt  $(20,8 \pm 1,7)$  nSv/h. Während der gesamten Messzeit zeigte sich keine Abweichung von diesem Wert, d. h. es war kein Einfluss von Umweltbedingungen (Temperatur, Luftfeuchte, Niederschlagsmenge, Luftdruck) zu erkennen.

### 3.2 Ortsdosimetrie für Neutronenstrahlung

Die Messung mit dem Dosisleistungsmessgerät für Neutronenstrahlung auf dem PTB Gelände ergab eine Anzeige von  $(7,2 \pm 0,3)$  nSv/h: sie setzt sich aus der Anzeige für die Neutronen aus der Höhenstrahlung und dem Nulleffekt des Messgeräts zusammen. Dieser Wert wurde von den Messwerten in Gorleben abgezogen.

Am TBL wurden Messungen im Bereich der Orten -20 m bis +120 m durchgeführt. Die jeweilige Messdauer an einem Ort betrug mindestens 4 Stunden. Es zeigt sich eine schwache Ortsabhängigkeit der Ergebnisse, wobei das Maximum der Umgebungsäquivalentdosisleistung im Bereich der Orte +30 m bis +50 m liegt. In diesem Bereich ist die vom TBL ausgehende Umgebungsäquivalentdosisleistung um den Faktor  $1,165 \pm 0,048$  höher als am Referenzort. Der maximale Wert am Zaun beträgt folgedessen  $(24,2 \pm 2,2)$  nSv/h.

Wie durch den geringen Abstand von 3,5 m zu erwarten, sind zwischen Neutronendosis-Messstelle Nr. 12 und dem Referenzort keine Unterschiede in der Umgebungsäquivalentdosisleistung feststellbar.

Die Messungen als Funktion des Abstands vom Zaun zeigen eine leichte und stetige Abnahme der Umgebungsäquivalentdosisleistung mit wachsender Entfernung vom TBL.

## 3.3 Ortsdosimetrie für Gammastrahlung

Die zu messende zusätzliche Gamma-ODL liegt in der gleichen Größenordnung wie die üblichen örtlichen und zeitlichen Schwankungen der Gamma-ODL durch natürliche Strahlenquellen. An dem vorgegebenen Messort am Messhaus 2 kann nur die Gesamt-Gamma-ODL gemessen werden. Die natürliche Gamma-ODL am gleichen Messort kann nur indirekt bestimmt werden, indem "Ersatz-Messorte" mit Hilfe eines umfangreichen Messverfahrens bestimmt werden. An dem oder den Ersatz-Messorten sollen nur natürliche Strahlenquellen vorliegen und sie sollen in Bezug auf die Bodenbeschaffenheit und andere, die Gamma-ODL beeinflussende Parameter keinen Unterschied zum Messort am Messhaus 2 aufweisen.

Für die Ermittlung der Ersatz-Messorte wurden zunächst Messungen auf dem Wall im TBL-Gelände durchgeführt. Diese Messungen zeigten ein deutliches Maximum nahe der Achse der TLB-Halle. Die Gamma-ODL auf dem Wall fällt von diesem Maximum nach wenigen Metern längs des Walls nach Osten und Westen sehr stark ab und bleibt dann mit geringen Schwankungen auf einem niedrigeren, nahezu konstanten Wert. An allen Messorten auf dem Wall sind die Messwerte in Richtung TBL um bis zu 5,0 nSv/h größer als in Richtung Wald. Dies deutet auf das TBL oder die unvermeidbare Strahlung durch radioaktive Stoffe in den Gebäuden und Straßen auf dem TBL-Gelände (durch Beton oder Steine) als Quelle der zusätzlichen Gamma-ODL hin. Die maximale Gamma-ODL aufgrund zusätzlicher Quellen in der TBL-Halle, gemessen auf dem Wall im TBL-Gelände, konnte zu  $(18,7 \pm 2,3)$  nSv/h bestimmt werden. Mit Ausnahme der engen Umgebung um dieses Maximum ist die Gamma-ODL auf dem Wall nahezu konstant. Dies legt es für die beiden Messorte auf dem Wall bei -75 m und +175 m nahe, dass an ihnen keine Erhöhung durch die TBL-Halle vorliegt, sondern höchstens, wie bereits oben erwähnt, durch Gebäude und Straßen auf dem TBL-Gelände. Letztere Strahlung wird durch den Erdwall vollständig abgeschirmt. Daher sind die Messwerte hinter dem Wall an den Messorten -75 m und +175 m als Ersatz-Messorte für die Bestimmung der natürlichen Gamma-ODL für den Messort -4 m (Messhaus 2) geeignet. Sie weisen den gleichen Boden und die gleiche Nähe zum Schotterweg auf. Die Nähe zum Schotterweg ist wichtig, da dieser zur natürlichen Gamma-ODL beiträgt. Dies ergibt sich zum Einen aus den immer um etwa 3 nSv/h größeren Messwerten bei Messung in Richtung Schotterweg im Vergleich zu Messwerten entgegen dem Schotterweg zum TBL hin und zum Anderen aus den Messungen auf dem Boden beim Messhaus 2 und auf dem Boden des Schotterweges. Die Messung auf dem Boden des Schotterwegs ergab einen um etwa 24 nSv/h höheren Messwert als auf dem Boden beim Messhaus 2. Der Wald in der Nähe ist als Ersatz-Messort ungeeignet, da bekannt ist, dass die Gamma-ODL im Wald um etwa 15 nSv/h bis 20 nSv/h (je nach Lokalität) niedriger ist als auf einer angrenzenden Rasenfläche auf gleichem Boden. Entsprechende Messungen 20 m nördlich von Messshaus 2 zeigen eine um etwa 13 nSv/h verringerte Dosisleistung, passen also zu dem bekannten Effekt.

Die gesamte Umgebungs-Äquivalentdosisleistung durch Gammastrahlung am Zaun (Mittelwerte der Messungen in beiden Richtungen) betrug  $(63,0 \pm 2,7)$  nSv/h bei Position -75 m,  $(64,7 \pm 2,4)$  nSv/h bei Position -4 m (nahe Messhaus 2) und  $(69,7 \pm 2,9)$  nSv/h bei Position +175 m (nahe Messhaus 3). Die angegebene Unsicherheit ist jeweils die Standard-Gesamtmessunsicherheit.

Aus den Untersuchungen ergibt sich rechnerisch eine Umgebungs-Äquivalentdosisleistung für Gammastrahlung vom TBL aus der Differenz der Messwerte am Messort bei -4 m (am Messhaus 2) und dem Mittelwert der Messwerte bei -75 m und -175 m zu  $(-1,6 \pm 2,1)$  nSv/h. Die angegebene Unsicherheit wurde unter Berücksichtigung der Korrelationen (durch nahezu gleiches Gamma-Spektrum an allen drei Messorten) berechnet und ist wieder die Standard-Gesamtmessunsicherheit. Der negative Wert entsteht durch die Differenzbildung zweier zahlenmäßig nahezu gleich großer Messwerte und ist aufgrund der angegebenen Unsicherheiten der beiden Messwerte und der zusätzlichen Unsicherheit durch die Unvollkommenheit der Ersatz-Messorte mathematisch sinnvoll. Ein negativer Wert für die zusätzliche Gamma-ODL durch das TBL ist jedoch physikalisch unsinnig. Da der Wert Null sicher innerhalb der angegebenen Unsicherheiten liegt, ist dieser Wert Null der beste Schätzwert für die zusätzliche Gamma-ODL durch das TBL. Als zugehörige Standard-Gesamtunsicherheit wird aber weiter der oben angegebene Wert angenommen.

Alle Messungen ergeben ein konsistentes Bild. Hinter dem Erdwall am Zaun der TBL konnte keine durch das TBL erhöhte Gamma-ODL nachgewiesen werden. In weiterer Entfernung vom Erdwall und vom Schotterweg in Richtung Wald konnte ebenfalls keine erhöhte Gamma-ODL nachgewiesen werden, sondern die Gamma-ODL nimmt um einen Wert ab, wie er typisch für Bereiche im Wald ist. Insbesondere zeigen die Untersuchungen deutlich, dass Messorte im Wald nicht als Ersatzorte für die Bestimmung der natürlichen Gamma-ODL am Zaun geeignet sind. Die Empfindlichkeit der verwendeten Messmethode zeigt sich in dem Nachweis der Erhöhung der Gamma-ODL durch den Weg direkt neben dem Zaun, der mit Schotter belegt ist.

## 4. Zusammenfassung

In den über etwa 4 Tage andauernden Messungen am Betriebsgeländezaun des TBL wurde trotz erheblicher Schwankungen der Umgebungsparameter (Temperatur, Luftfeuchte, Niederschlagsmenge, Luftdruck) kein Einfluss dieser Parameter auf das Messergebnis für Neutronenstrahlung festgestellt. Zusätzlich zeigen die Messdaten der verschiedenen Neutronenmonitore für Höhenstrahlung (z.B. in Oulu, Finnland), dass während der Messzeit keine ungewöhnlichen Schwankungen der Sonnenaktivität und somit der Intensität der Höhenstrahlung auftraten. Unter der Voraussetzung, dass keine Veränderungen bezüglich Strahlenquellen (Anzahl und Aufstellungsort der Transportbehälter) und Abschirmung vorgenommen werden, können somit die Werte der vom TBL verursachten Umgebungsäquivalentdosisleistung durch Neutronenstrahlung (in nSv/h) durch Multiplikation mit der Anzahl der Stunden pro Jahr auf ein Jahr hochgerechnet werden.

Für die Gammastrahlung ist kein Beitrag vom TBL nachweisbar. Die Unsicherheit des Messwertes Null ist jedoch bei der Gesamt-Messunsicherheit zu berücksichtigen, indem die entsprechende Unsicherheit auf ein Jahr hochgerechnet wird. Die Messorte am Zaun des Betriebsgeländes in großer Entfernung vom Messhaus 2 sind geeignet für die Bestimmung der Umgebungsäquivalentdosisleistung durch natürliche Gammastrahlung am Zaun des TBL. Der Schotterweg entlang des Zauns liefert hier einen messbaren Beitrag. Messorte im Wald sind nicht geeignet, um die Umgebungsäquivalentdosisleistung durch natürliche Gammastrahlung am Zaun des TBL zu bestimmen.

Die nachfolgende Tabelle fasst die Umgebungsäquivalentdosis in Milli-Sievert pro Jahr (mSv/a) zusammen, die durch die vom TBL ausgehende Strahlung am ungünstigsten Aufpunkt am Betriebsgeländezaun des TBL (also dem Ort mit der maximalen Umgebungsäquivalentdosisleistung) verursacht wird. Dieser Ort liegt etwa 40 m westlich von der Neutronendosis-Messstelle Nr. 12.

	Umgebungsäquivalentdosis in Milli-Sievert pro Jahr
Neutronenstrahlung	0,212±0,019
Gammastrahlung	0,000±0,018 <sup>1)</sup>
Gesamtstrahlung	0,212±0,026

<sup>1)</sup> Zur Berechnung der Unsicherheit der Gesamtdosis werden hier symmetrische Unsicherheiten angegeben, obwohl eine negative Dosis nicht physikalisch sinnvoll ist.

Alle in diesem Bericht angegebenen Unsicherheiten sind Standard-Messunsicherheiten. Für die Dosiswerte wurden sie gemäß dem „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)“ ermittelt. Für die Spektrometrie ist dieses Verfahren nicht anwendbar. Hier wurde eine Bayes'sche Analyse durchgeführt. Der Wert der Messgröße liegt dann im Regelfall mit einer Wahrscheinlichkeit von annähernd 68 % im zugeordneten Überdeckungsintervall.

**Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)** in Braunschweig und Berlin ist das nationale Metrologieinstitut und die technische Oberbehörde der Bundesrepublik Deutschland für das Messwesen. Die PTB gehört zum Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Sie erfüllt die Anforderungen an Kalibrier- und Prüflaboratorien auf der Grundlage der DIN EN ISO/IEC 17025.

Zentrale Aufgabe der PTB ist es, die gesetzlichen Einheiten in Übereinstimmung mit dem Internationalen Einheitensystem (SI) darzustellen, zu bewahren und weiterzugeben. Die PTB steht damit an oberster Stelle der metrologischen Hierarchie in Deutschland. Die Kalibrierscheine der PTB dokumentieren eine auf nationale Normale rückgeführte Kalibrierung.

Zur Sicherstellung der weltweiten Einheitlichkeit der Maßeinheiten arbeitet die PTB mit anderen nationalen metrologischen Instituten auf regionaler europäischer Ebene in EURAMET und auf internationaler Ebene im Rahmen der Meterkonvention zusammen. Dieses Ziel wird durch einen intensiven Austausch von Forschungsergebnissen und durch umfangreiche internationale Vergleichsmessungen erreicht.

***The Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig and Berlin is the National Metrology Institute and the supreme technical authority of the Federal Republic of Germany for metrology. The PTB comes under the auspices of the Federal Ministry of Economics and Technology. It meets the requirements for calibration and testing laboratories as defined in DIN EN ISO/IEC 17025.***

*The central task of PTB is to realize, to maintain and to disseminate the legal units in compliance with the International System of Units (SI). PTB thus is at the top of the metrological hierarchy in Germany. The calibration certificates issued by PTB document a calibration traceable to national measurement standards.*

*PTB cooperates with other national metrology institutes - at the regional European level within EURAMET and at the international level within the framework of the Metre Convention - with the aim of ensuring the worldwide coherence of the measurement units. This aim is achieved by an intensive exchange of the results of research work and by comprehensive international comparison measurements.*