

FLÄCHENDECKENDE LANGZEITANALYSE DER STRAHLUNG IN DER UMGEBUNG DER SCHWEIZER KERNANLAGEN MIT HILFE DER AERORADIOMETRIE

LONG-TERM ANALYSIS OF RADIATION LEVELS IN THE ENVIRONS OF SWISS NUCLEAR FACILITIES USING AIRBORNE GAMMA SPECTROMETRY DATA

B. Bucher¹⁾, L. Rybach²⁾

¹⁾Eidg. Nuklearsicherheitsinspektorat, 5200 Brugg, Schweiz

²⁾Institut für Geophysik, ETH Zürich, 8092 Zürich, Schweiz

Zusammenfassung

Die Umgebung der Schweizer Kernanlagen wird seit 1989 jährlich und seit 1994 im zweijährigen Turnus mittels Aerogammaspektrometrie entlang derselben Fluglinien vermessen. Die Messeinrichtung und die Datenverarbeitung wurden am Institut für Geophysik der ETH Zürich entwickelt. Die Kartierung der Ortsdosisleistung erfolgt mit einem modifizierten Spektral-Dosis-Index (SDI) und einer Pixeldarstellung. Bei der Suche nach Langzeit-Trends wurde für die Zeitspanne 1992-2009 aus den Ortsdosisleistungen Nettodosisleistungen bestimmt. Ausserhalb der umzäunten Anlagen-Areale konnten mit Ausnahme einer industriellen Bestrahlungsanlage im Jahr 1995 keine signifikanten Änderungen der Strahlungswerte festgestellt werden.

Summary

Annually since 1989, biannually since 1994 the sites of the Swiss nuclear facilities are surveyed flying the same survey lines by airborne gamma ray spectrometry. The equipment and the data processing software used for those surveys were built and developed at the Institute of Geophysics, ETH Zurich. For mapping the ambient dose rate equivalent a pixel representation and a modified spectrum dose index (SDI) method are used. In the search for long-term trends, the net dose rates are calculated over the time span 1992-2008. So far, no change in the radiation levels was detected outside of the fenced sites of the nuclear facilities with the exception of an industrial radiation facility in 1995.

Schlüsselwörter: Aerogammaspektrometrie, Bodenstrahlung, Kernanlagen, Ortsdosisleistung

Keywords: Airborne gamma spectrometry, ground radiation, nuclear power plants, ambient dose rates

1. Einleitung

In der Schweiz gibt es an vier Standorten fünf Kernkraftwerke (Beznau I + II, KKB, DWR; Mühleberg, KKM, SWR; Gösgen, KKG, DWR; Leibstadt, KKL, SWR). Als weitere Kernanlagen gelten Teile der Forschungseinrichtung Paul Scherrer Institut (PSI) sowie das Bundeszwischenlager (BZL) und die Zwischenlager Würenlingen AG (ZWILAG). In der Umgebung der Kernanlagen gibt es ein automatisches Messnetz zur Dosisleistungsüberwachung (MADUK) sowie ein Messnetz mit Thermolumineszenz-

Dosisdetektoren (TLD). In Zusammenarbeit mit der Sektion Umweltradioaktivität des Bundesamtes für Gesundheit und diversen weiteren Messlabors wird ein Überwachungsprogramm in der Umgebung der Kernanlagen durchgeführt. Quartalsweise werden Ortsdosisleistungsmessungen entlang der Zäune um die Anlagen durchgeführt. Zusätzlich wird die Umgebung der Schweizer Kernanlagen seit 1989 regelmässig mit Hilfe der Aeroradiometrie flächendeckend vermessen. Die eingesetzte Messapparatur und Auswertemethodik wurde am Institut für Geophysik der ETH Zürich entwickelt und primär für die geologische Kartierung der Zentralmassive in den Schweizer Alpen eingesetzt [1]. Die ersten Messflüge in der Umgebung der Schweizer Kernanlagen erfolgten im Auftrag der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), dem heutigen Eidg. Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI). 1994 wurde die Aeroradiometrie in die Alarmorganisation des Bundes integriert. Seither stehen die Einsätze unter der Leitung der Nationalen Alarmzentrale (NAZ). Seit 1994 wird die Umgebung der Kernanlagen im Zweijahresrhythmus (pro Jahr zwei Kernkraftwerksstandorte) im Rahmen der jährlichen Messübungen der Einsatzkräfte aeroradiometrisch vermessen. Sie dienen einerseits dem Training der Einsatzkräfte, andererseits der Beweissicherung. Die Ergebnisse werden in jährlichen Berichten publiziert und stehen auch auf dem Internet zum Download zur Verfügung (www.far.ensi.ch).

Mit den zur Verfügung stehenden Messwerten über eine Zeitspanne von 18 Jahren sollen nun im Folgenden flächendeckende Langzeitanalysen durchgeführt werden, um mögliche zeitliche oder örtliche Änderungen zu erfassen und zu dokumentieren.

2. Messtechnik

Die Messausrüstung besteht aus einem NaI-Detektor mit einem Volumen von 16.7 Litern, einem Spektrometer mit 256 Kanälen und einer automatischen Spektrumsstabilisierung, einem GPS-Empfänger, einem Temperaturfühler, einem Barometer und einer PC basierten Kontroll- und Auswertungseinheit, welche die Daten jede Sekunde sammelt, auf Memory-Karten abspeichert, auswertet und online kartiert.

Der Detektor wird unter dem Helikopter montiert, das Rack mit den elektronischen Komponenten in der Passagierkabine. Als Helikopter kommt seit 1994 ein SuperPuma der Armee zum Einsatz.

Um eine möglichst einheitliche Abdeckung des Messgebiets zu erhalten, werden parallele Fluglinien im Abstand von 250 m abgeflogen. Die Standardflughöhe beträgt 90 m und die Fluggeschwindigkeit rund 100 km/h.

Bei der Datenauswertung erfolgt als erstes eine qualitative Überprüfung des Spektrums. Dann werden Korrekturen für Background (Helikopter, kosmische Strahlung), Streustrahlung und Flughöhe/Topographie durchgeführt. Schliesslich werden die normalisierten Nettozählraten in Bodenaktivitäten konvertiert. Ebenfalls wird aus den erhobenen Messdaten eine Ortsdosisleistung 1 m über Boden bestimmt (siehe unten).

Die Nachweisgrenze für Punktquellen liegt abhängig von Radionuklid, Vegetation, Background und Topographie bei der Standardflughöhe von 90 m zwischen 0.4. und 1.9 GBq. Für eine Oberflächenkontamination durch ^{137}Cs liegt die Nachweisgrenze abhängig von Vegetation, Background und Topographie bei der Standardflughöhe von 90 m zwischen 0.5 und 1 kBq/m².

Bei der Kartierung wird eine Pixelmethode verwendet. Dabei werden alle Messpunkte gemittelt, die innerhalb einer Gitterzelle von üblicherweise 125 m x 125 m liegen. Gitterzellen, die keine Messpunkte enthalten, werden durch den Mittelwert der angrenzenden Nachbarn gefüllt. Es werden keine zusätzlichen Filter eingesetzt.

3. Dosisleistungsbestimmung

Die Gammastrahlung des Untergrunds zeigt sich im gemessenen Gammaskpektrum über dem Boden. Das Spektrum, das mit der Aeroradiometrie gemessen wird, enthält einen Strahlungsbeitrag vom Untergrund, von der Atmosphäre (Radonfolgeprodukte, Aerosole), vom Helikopter und aus dem Weltraum (kosmische Strahlung). Je höher die gemessene Zählrate ist, desto grösser ist die bestimmte Dosisleistung. Die Dosisleistung ist aber nicht nur von der Zählrate, sondern auch von der Energie der Strahlung abhängig. Die gemessenen Spektren enthalten neben der Zählrate auch Informationen zur Energieverteilung der Strahlung. Diese werden bei der Bestimmung der Dosisleistung mit Hilfe der sogenannten Spectrum Dose Index (SDI) Methode [2] genutzt. Der SDI ist definiert mit

$$SDI = \sum_i^n (CR_i \cdot i)$$

wobei CR_i die Zählrate im Kanal i ist. Der SDI wird dann für die Beiträge der kosmischen Strahlung und den Background des Helikopters korrigiert. Über eine exponentielle Höhenkorrektur wird der SDI auf eine Standardhöhe normiert. Anschliessend wird der SDI mit einem Umrechnungsfaktor, der über Vergleiche mit Bodenmessungen bestimmt wurde, in die Dosisleistung 1 m über Boden konvertiert. Der kosmische Dosisleistungsanteil wird rechnerisch nach [3] bestimmt und addiert. Damit erhält man die Umgebungsäquivalentdosisleistung 1 m über Boden.

4. Verfahren zur Nettodosisleistungsbestimmung

Für die Umgebung der Kernanlagen wird aus den bestimmten Dosisleistungen für jedes Jahr, in dem Messungen durchgeführt wurden, ein Grid mit einer Zellgrösse von 125 m x 125 m erstellt. Da das durch die Messflüge abgedeckte Gebiet nicht jedes Jahr gleich gross war, wurden die Grids auf das gemeinsam abgedeckte Gebiet reduziert. Da der Fokus auf der Umgebung der Kernanlagen liegt, wurden jene Werte maskiert, die durch die Aktivitäten innerhalb der umzäunten Areale beeinflusst waren.

Im nächsten Schritt wurden aus den vorhandenen Daten analog zur in [4] beschriebenen Methode die Nettodosisleistungen bestimmt, wobei jede Gitterzelle des Grids als Messstation betrachtet wurde. Für die Bestimmung der Nettodosisleistung wird die Dosisleistung in einen zeitlich ($D(z)$) und einen örtlich variablen Teil ($OSP(x)$) aufgetrennt. Die örtlich variable Komponente trägt den unterschiedlichen lokalen Begebenheiten, die zeitlich variable Komponente den über die Zeit unterschiedlichen Einflussfaktoren wie z.B. Bodenfeuchte Rechnung.

Der örtlich variable Teil $OSP(x)$ bestimmt sich aus dem Mittelwert $D(x)$ über alle Jahre für eine Station x (hier eine Gitterzelle) und dem Mittelwert D über alle Jahre (z) über alle Stationen x :

$$OSP(x) = D(x) - D$$

Der zeitlich variable Anteil $D(z)$ ergibt sich aus dem Mittelwert über alle Stationen einer Messkampagne: Der Erwartungswert E für eine gegebene Station lässt sich nun aus dem entsprechenden $OSP(x)$ und dem zeitlich variablen Anteil $D(z)$ bestimmen:

$$E(x, z) = D(z) + OSP(x)$$

Die Nettodosisleistung ergibt sich nun aus der Differenz des Messwertes und des Erwartungswertes. Die Standardunsicherheit der gemittelten Nettodosisleistung, welche für die verwendeten Daten Null ist, bestimmt sich folgendermassen:

$$\Delta N = \pm \sqrt{\frac{1}{(m-1) \cdot (n-1)} \sum_{x,z} (D(x,z) - E(x,z))^2}$$

Aus der Standardunsicherheit der gemittelten Nettodosisleistung lässt sich die Erkennungsgrenze für die Nettodosisleistung bestimmen. Unter der Annahme, dass die Unsicherheit der Nettodosisleistung im Wertebereich der Nachweisgrenze ähnlich ist wie die Unsicherheit der gemittelten Nettodosisleistung und die Wahrscheinlichkeit eines falschen Nachweises 5 % beträgt, ergibt sich für die Nachweisgrenze das Doppelte der Erkennungsgrenze:

$$NWG = 2 \cdot EG = 3.29 \cdot \Delta N$$

5. Resultate

Der Mittelwert über ein ganzes Messgebiet kann Hinweise über Trends in diesem liefern. In der Abbildung 1 sind die Verläufe der Gebietsmittelwerte der Ortsdosisleistung für die Messgebiete KKG, KKM und KKB (umfasst das Messgebiet um die beiden KKW Beznau und Leibstadt sowie um die Forschungsanstalt PSI und die Zwischenlager AG) aufgezeichnet. Ebenfalls sind die 95 % Vertrauensintervalle angegeben.

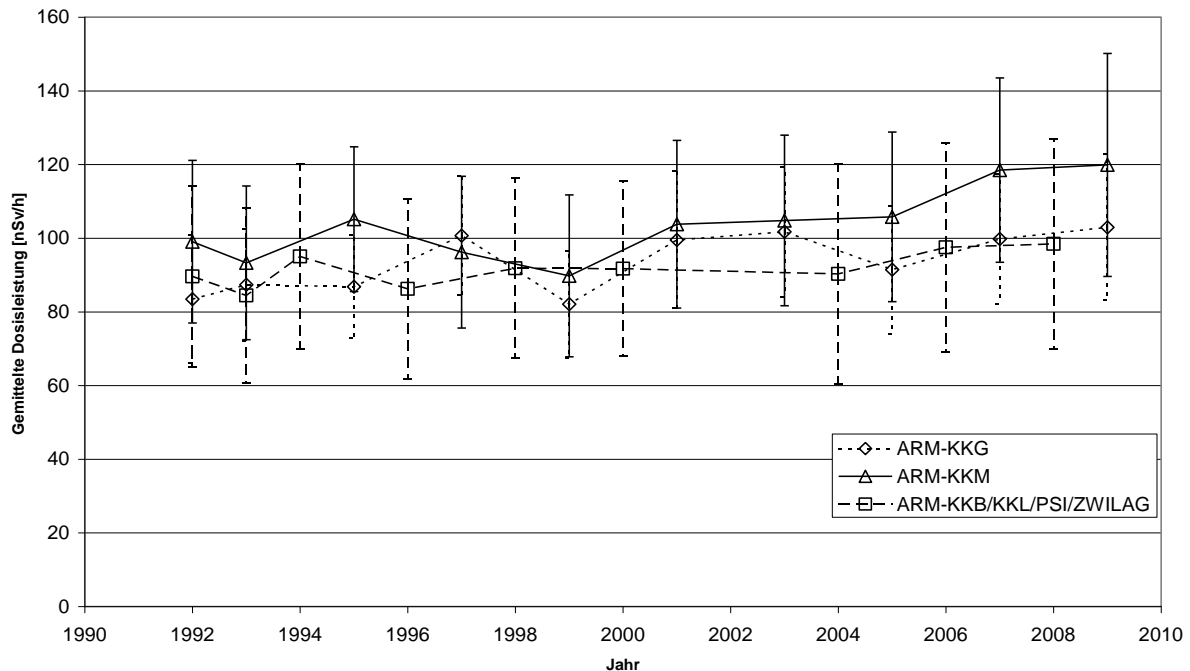


Abb. 1: Verlauf der über die Messgebiete gemittelten Dosisleistung der Aeroradiometrie für die drei Messgebiete KKB/KKL/PSI/ZWILAG, KKM und KKG. Zusammen mit den Mittelwerten sind die jeweiligen 95 % Vertrauensintervalle aufgezeichnet.

Für das Jahr 2002 gibt es für das Messgebiet KKB keinen Wert, da in diesem Jahr aus logistischen Gründen nur ein sehr kleines Gebiet aeroradiometrisch vermessen werden konnte.

Die über die Messgebiete gemittelten Nettodosisleistungen liegen für alle Messgebiete über alle Jahre sehr nahe bei Null. In der Abbildung 2 sind als Beispiel die gemittelten Nettodosisleistungen für das Messgebiet KKG mit den 95 % Vertrauensintervallen abgebildet.

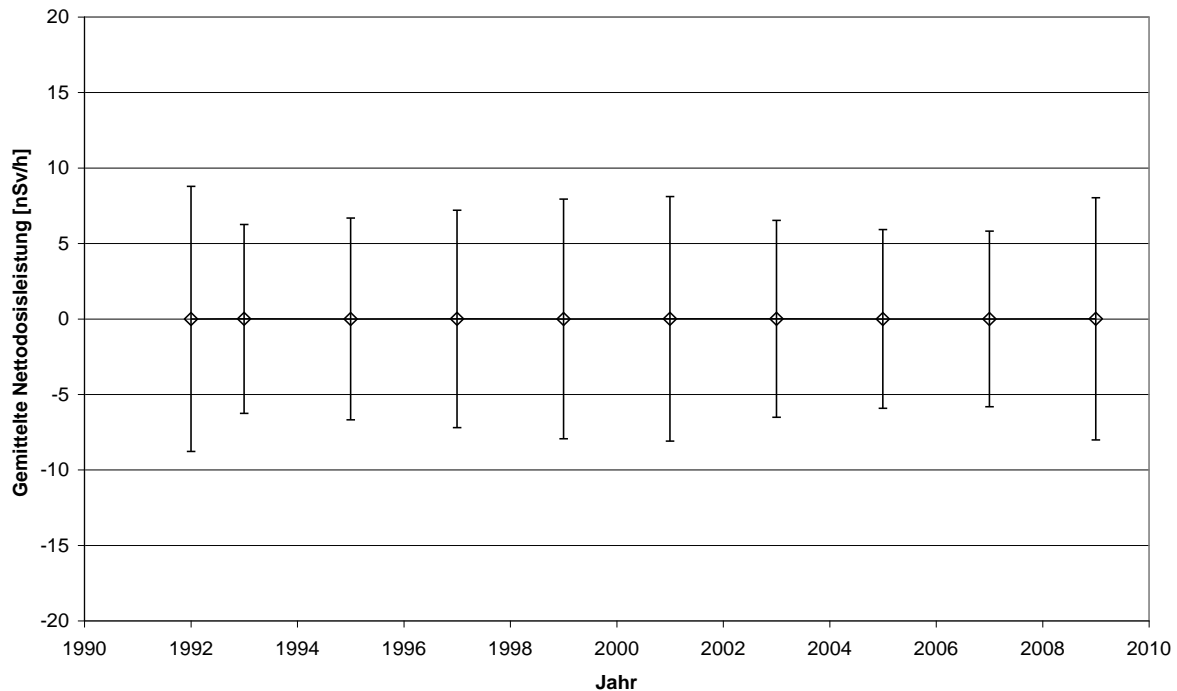


Abb. 2: Verlauf der über das Messgebiet gemittelten Nettodosisleistung im Messgebiet KKG mit dem jeweiligen 95 % Vertrauensintervall.

Aus den bestimmten Nettodosisleistungen und ihrer Varianz lässt sich die Nachweisgrenze für jedes Messgebiet bestimmen. Für das Messgebiet KKG erhält man eine Nachweisgrenze von 13 nSv/h, für das Messgebiet KKM 17 nSv/h und für das Messgebiet KKB 18 nSv/h.

In den Nettodosisleistungen für das Messgebiet KKG im Jahr 1995 fallen Werte mit maximal 39 nSv/h auf. Das betroffene Gebiet ist örtlich stark beschränkt.

6. Diskussion

Mit den bestimmten Nachweisgrenzen könnte in jedem Messgebiet eine Zunahme der Jahresdosis um 0.2 mSv/Jahr für jede Gitterzelle nachgewiesen werden.

Aus den Gebietsmittelwerten der Ortsdosisleistung lässt sich über die Jahre kein Trend ableiten; in der erfassten Zeitperiode blieben die Dosisleistungsvariationen bei allen untersuchten Kernanlagen innerhalb der Unsicherheiten. Vergleicht man die mit der Aeroradiometrie bestimmten Mittelwerte mit den Messwerten des automatischen Messnetzes MADUK für den Messzeitraum (siehe auch Abbildung 3), erkennt man einen ähnlichen Verlauf. Die Messdaten von MADUK zeigen saisonale Schwankungen aufgrund der Bodenfeuchtigkeit, Vegetationsdichte oder Schneedecke, die sich je nach Zeitpunkt der Messungen auch in den Resultaten der Aeroradiometrie niederschlagen. Die tieferen Mittelwerte der Aeroradiometrie lassen sich dadurch erklären, dass in diesem auch

Messdatenpunkte über Wasser enthalten sind, während MADUK-Stationen sich nur auf Boden befinden.

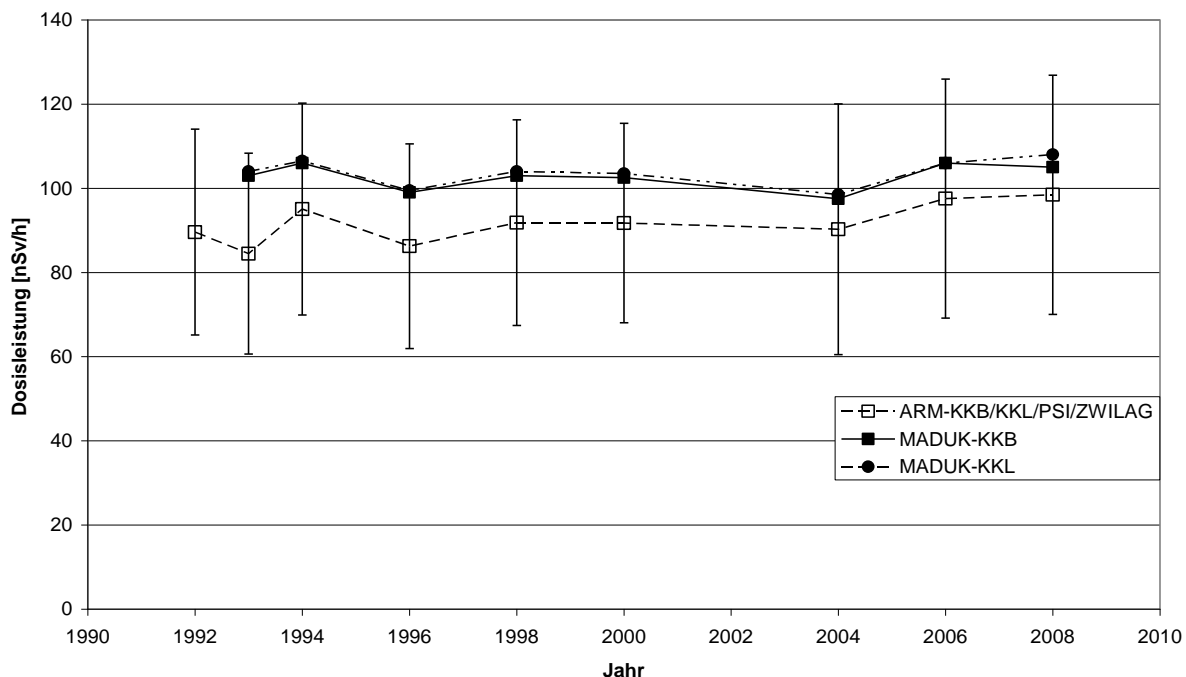


Abb. 3: Verlauf der Gebietsmittelwerte der Aeroradiometrie (ARM-KKB/KKL/PSI/ZWILAG) im Vergleich mit den Mittelwerten der MADUK-Messstationen um das KKW Leibstadt (MADUK-KKL) und das KKW Beznau (MADUK-KKB) für denselben Messzeitraum. Für die Werte der Aeroradiometrie sind jeweils auch die 95 % Vertrauensintervalle des Mittelwertes angegeben.

Die erhöhten Nettodosisleistungen im Messgebiet KKG im Jahr 1995 wurden durch eine industrielle Bestrahlungsanlage verursacht. Da die Abschirmungen in dieser Anlage nach 1995 verstärkt wurden, konnte die Bestrahlungsanlage in den folgenden Jahren aus der Luft nicht mehr detektiert werden.

7. Literaturverzeichnis

- [1] Schwarz, G.F.: Methodische Entwicklungen zur Aerogammaspektrometrie. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geophysik Nr. 23, Schweizerische Geophysikalische Kommission, 1991
- [2] Bucher, B.: Methodische Weiterentwicklungen in der Aeroradiometrie. Diss. ETH Nr. 13973, 154 p, 2001
- [3] Murith, C., Gurtner, A. : Mesures in situ et irradiation externe. In: BAG, 1994: Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 1993. Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Strahlenschutz, Bern, 1994.
- [4] Bucher, B., Cartier, F., Völkle, H.: Bestimmung der Nettodosisleistung mit TLD-Umgebungsdosimetern und automatischen Dosisleistungsmessnetzen. Loseblatt 3.4.1 der Loseblattsammlung FS-78-15-AKU, Empfehlungen zur Überwachung der Umweltradioaktivität, Arbeitskreis Umweltüberwachung, Fachverband für Strahlenschutz, 2007