

Der Mensch als Strahlenquelle

Der Ganzkörperzähler und sein Einsatz

Der Ganzkörperzähler am Kantonsspital Basel ermöglicht die Bestimmung der inkorporierten Radioaktivität durch Messung der aus dem Körper austretenden γ -Strahlung. Ein empfindliches Messsystem zusammen mit einer guten Abschirmung der Anlage gegen äussere Strahlungseinflüsse (Kosmos, Erdreich, Umgebung) bilden die Voraussetzung für die Bestimmbarkeit auch kleinster Mengen an Radionukliden künstlichen oder natürlichen Ursprungs im Körper.

Der Ganzkörperzähler wurde im Jahre 1968 für die Stoffwechselabteilung des KBS im 2. Untergeschoss des Klinikum 1 in Betrieb genommen. Entsprechend seiner damaligen Bestimmung lag das Haupteinsatzgebiet in Stoffwechseluntersuchungen. So liess sich beispielsweise der Knochenstoffwechsel mit Hilfe der Kalzium-47-Kinetik zuverlässig bestimmen [1]. Nach dem Umzug ins 2. Untergeschoss des neubauten Klinikum 2 wurde der Ganzkörperzähler nach umfangreichen Messungen 1984 von der Abteilung für Nuklearmedizin übernommen. Zum Teil stand der Ganzkörperzähler immer noch für klinische Forschungsprojekte zur Verfügung wie etwa für Retentionsstudien mit Eisen-59 oder für Verlaufskontrollen mit Kalium-40 bei Durchführung einer bestimmten Eiweissdiät.

Doch primär sollte das Gerät für die Strahlenschutzüberwachung von Mitarbeitern des KBS und weiterer Bevölkerungskreise zur Verfügung stehen. So wurde der Ganzkörperzähler auch in das Strahlenunfall-Konzept des KBS aufgenommen. Gemäss einer Bestandaufnahme durch eine Arbeitsgruppe der SGSMP diente das Gerät zusammen mit ähnlichen Anlagen am Hôpital Cantonal de Genève und am Paul Scherrer Institut in Würenlingen hauptsächlich der Inkorporationsüberwachung der Schweizer Bevölkerung. Diese Zweckbestimmung wurde auch nach der Übernahme des Ganzkörperzählers durch die Radiologische Physik im Jahre 1994 beibehalten. Die "Anerkennung für den Betrieb einer Inkorporationsmessstelle" [5] durch das Bundesamt für Gesundheit (BAG) wurde uns Mitte 2001 erteilt.

Der Ganzkörperzähler dient bestimmungsgemäss als Messinstrument im Falle einer unbeabsichtigten Radioaktivitäts-Inkorporation – z.B. im Falle einer Überschreitung der entsprechenden Interventionsschwelle bei beruflich strahlenexponierten Personen – und ist als solches bisher zum Glück äusserst selten zum Einsatz gekommen.

Wenige Tage nach dem KKW-Unfall von Tschernobyl vom 26. April 1986 wurde der Ganzkörperzähler in Absprache mit dem Kantonsarzt für entsprechende Messungen bereitgestellt. So wurden Mitte Mai Untersuchungen an einer Person durchgeführt, die sich zur Zeit des Unglücks in Kiew aufgehalten hatte. Neben einer Anreicherung von Jod-131 in der Schilddrüse wurde eine starke Kontamination der Kleider festgestellt. Die ungewöhnliche Zusammensetzung der Radionuklide konnte mit der Art der Freisetzung der Radioaktivität bei der Katastrophe erklärt werden [2].

Seit 1995 haben wir die Anlage im Jahresrhythmus auch zur Erfassung von natürlichen und künstlichen Radionukliden in Probanden eingesetzt. Dies wurde jeweils im Rahmen einer Kampagne mit ca. 40 Jugendlichen (je ca. die Hälfte beiden Geschlechts) pro Jahr aus Schulen der Halbkantone Basel-Stadt und Basel-Landschaft in Zusammenarbeit mit der Sektion Überwachung der Radioaktivität (SUeR) des Bundesamtes für Gesundheit (BAG) [6] realisiert. Weiter haben wir analoge Messungen der Körper-Radioaktivität an Personen aus der Region von Tschernobyl im Jahre 1998, an Jugendlichen aus dem Tessin im Winter 2001 und an weiteren Einzelpersonen durchgeführt.

Von der Aktivität zu Dosis

Die γ -Strahlung, welche von den zu messenden Radionukliden ausgeht, wird im Ganzkörperzähler des Kantonsspitals Basel mit zwei NaI-Detektoren erfasst, wobei sich während der Messung einer oberhalb und einer unterhalb des Probanden längs der Körperachse bewegt. Die typische Messzeit beträgt 24 Minuten. Dabei ergibt sich z.B. für Cs-137 eine Nachweisgrenze von 25 Bq [3]. Nach der Bearbeitung und Zusammenfassung der Rohdaten der beiden Detektoren ergibt sich bei einem Probanden typischerweise ein Energiespektrum wie in Abbildung 1 dargestellt.

Im Energiebereich bis ca. 2000 keV sind einige Peaks natürlichen und künstlichen Ursprungs sichtbar und z.T. beschriftet, so z.B. das Bi-214 (aus der U-238-Zerfallskette) und das Cs-137 bei ca. 600-700 keV. Die isotonenabhängige Bestimmung der Aktivität aus den Peak-Inhalten erfolgt auf Grund einer Aktivitätskalibrierung mit einem geeigneten Phantom mit eingelagerten bekannten Aktivitäten [4]. Für die Berechnung der Folgedosis aus der ermittelten Aktivität zu einem bestimmten Zeitpunkt werden die Daten und Methoden aus der Dosimetrierverordnung [5] verwendet.

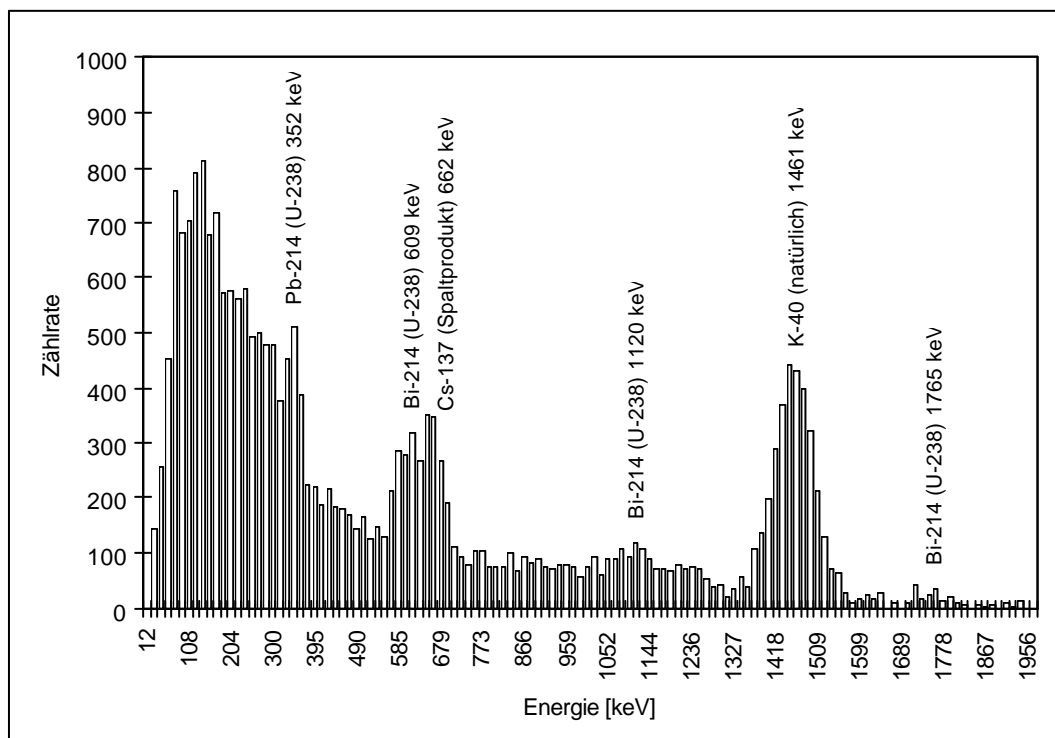


Abbildung 1: Typisches Energiespektrum eines Probanden, wobei "U-238" auf ein Isotop aus der U-238-Zerfallskette und "natürlich" auf ein Isotop natürlichen Ursprungs aus der Umwelt hinweist.

Die Ergebnisse (Normales und Aussergewöhnliches)

Die seit 1995 jährlich durchgeführte Kampagne mit Schülerinnen und Schülern im Alter von 17 bis 20 Jahren aus der Region Basel und die Messserie von Anfang 2001 mit Jugendlichen aus dem Kanton Tessin haben eine mittlere Cs-137-Aktivität von 16 Bq ergeben. Dabei reichen bei den total 250 Messungen die Werte von 0 Bq bis 223 Bq. Werden die sieben grössten Messwerte (> 86 Bq) weggelassen, ergibt sich eine mittlere Cs-137-Aktivität von 13 ± 11 Bq. Dabei ist anzunehmen, dass der Ursprung dieser Aktivitäten im Reaktor-Unfall von Tschernobyl im Jahre 1986 liegt.

Werden die jährlichen Mittelwerte der Cs-137-Aktivität für die Jahre 1995 bis 2000 (ohne die sieben grössten Werte) graphisch dargestellt, so zeigt sich der in Abbildung 2 erkennbare Trend einer Aktivitätsabnahme über die Jahre. Die Anpassung einer Exponentialkurve an die Daten ergibt eine Halbwertszeit von 5,6 Jahren. Betrachtet man die physikalische Halbwertszeit für Cs-137 von 30,2 Jahren und die entsprechende biologische Halbwertszeit für die Ausscheidung aus dem Körper von ca. 100 Tagen [5], so liegt die aus den Daten bestimmte "Umwelt-Halbwertszeit" von ca. 5,6 Jahren, welche Ausdruck des Gleichgewichts Mensch-Biosphäre ist, zwischen diesen beiden Werten.

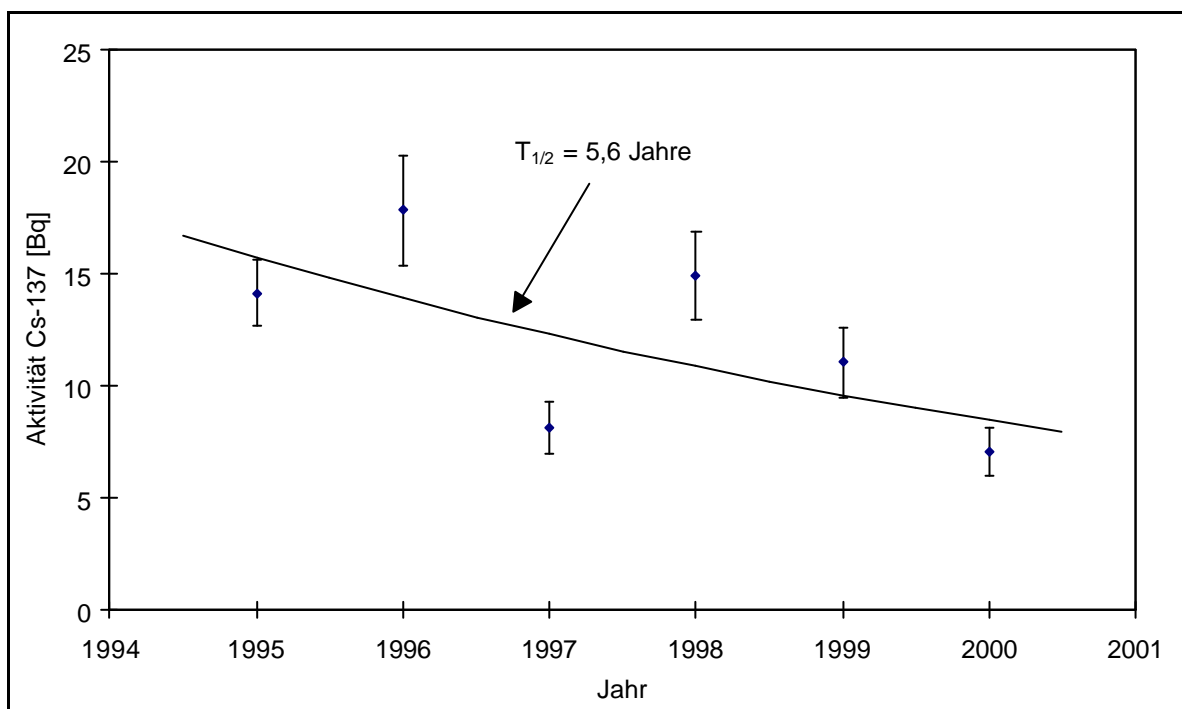


Abbildung 2: Die mittleren Cs-137-Aktivitäten aus der Messkampagne mit Jugendlichen aus der Region Basel für die Jahre 1995 bis 2000, zusammen mit der an die Daten angepassten Exponentialkurve.

Für die Bi-214-Aktivität ergibt sich über die Jahre 1995 bis 2001 ein totaler Mittelwert von 40 Bq, ohne die grössten Werte (sieben Werte > 144 Bq) ein solcher von 36 ± 32 Bq. Es zeigt sich, wie für ein natürlich vorkommendes Radioisotop erwartet

werden darf, kein klarer Trend einer Ab- oder Zunahme für den Verlauf der Bi-214-Aktivität über die Jahre.

Beim K-40, das mit einem Anteil von 0,012% am natürlichen Kalium beteiligt ist und mit der Nahrung in den Körper gelangt, zeigt sich aus den Messungen, dass die K-40-Aktivität bei Normierung auf die Körpermasse der Probanden recht konstant ist. Das hängt damit zusammen, dass das Kalium vorwiegend im Muskelgewebe mit konstanter Konzentration eingebaut ist. Der entsprechende Wert für Frauen beträgt 59 ± 6 Bq/kg, derjenige für Männer 72 ± 8 Bq/kg. Die Unterschiede bei Frauen und Männern können mit den unterschiedlichen Fettanteilen im Körper erklärt werden.

Für die weiter oben weggelassenen grossen Radioaktivitätswerte lassen sich zum Teil Erklärungen für die erhöhten Werte angeben. So war z.B. ein Messwert von 223 Bq Cs-137 im Jahre 1995 auf einen vorgängigen Aufenthalt in Skandinavien und den Konsum von lokal produzierten Nahrungsmitteln zurückzuführen. Dabei liessen wir uns von den skandinavischen Behörden bestätigen, dass die dortige Cs-137-Konzentration in der Umwelt nach dem Reaktor-Unfall von Tschernobyl noch immer erhöht war.

Im Jahr 1998 konnten an drei 10- bis 12-jährigen Kindern und einem 24-jährigen Mann aus der Region von Tschernobyl Ganzkörperzählermessungen durchgeführt werden. Die Cs-137-Aktivitäten von je ca. 4400 Bq bei den Kindern und ca. 8800 Bq für den Mann führen bei Normierung auf die Körpermassen zu relativ konstanten Werten von ca. 120 Bq/kg. Dieses Resultat hängt vermutlich mit dem Vorliegen eines relativ homogenen Cs-137-Pegels in der Nahrungsmittelkette zusammen.

Die im Januar und März 2001 an zwei Schulklassen aus dem Kanton Tessin durchgeführten Messungen ergaben im Mittel eine Cs-137-Aktivität von 31 Bq. Dies ist doppelt soviel wie der entsprechende Wert für die Personen aus der Region Basel. Die höhere mittlere Aktivität kann auf das Depositionsmuster der Radionuklide nach dem Reaktor-Unfall von Tschernobyl zurückgeführt werden.

Die sich aus den gemessenen inkorporierten Aktivitäten ergebenden Strahlenexpositionen sind normalerweise klein im Vergleich mit der jährlichen natürlichen Strahlenexposition von ca. 3 mSv/Jahr. So ergibt eine dauernde Aktivität von 100 Bq Cs-137 im Körper eine Dosis von ca. 3 μ Sv/Jahr [5, 6]. Die 8'800 Bq Cs-137 für die Person aus der Umgebung von Tschernobyl bedeuten somit eine Jahresdosis von ca. 0,3 mSv. Die K-40-Aktivität im Körper bewirkt eine Exposition von ca. 0,2 mSv/Jahr. Die Bi-214-Aktivität ergibt zusammen mit den anderen Radionukliden aus den Uran- und Thorium-Zerfallsketten eine Jahresdosis von ca. 0,2 mSv/Jahr [6].

Der Ganzkörperzähler ist bereit (für alle Fälle)

Die beschriebenen Ergebnisse, insbesondere bei den jährlichen Messkampagnen mit Probanden aus dem Raum Basel, zeigen, dass der Ganzkörperzähler am Kantonsspital Basel im Bedarfsfall ein probates Messinstrument für die Erfassung von kleinen Mengen γ -emittierender Radionuklide ist. Die Anerkennung des Ganzkörperzählers als Inkorporationsmessstelle durch das Bundesamt für Gesundheit unterstreicht zusätzlich die Bedeutung der Anlage für die Schweiz. Um das Vertrauen in die Messmethodik zu erhalten

und die Qualität der Resultate zu sichern, verlangt das BAG als Auflage die Akkreditierung unserer Tätigkeiten am Ganzkörperzähler. Daneben ist auch die wiederholte Durchführung und Bewertung von Probanden-Messungen, gegebenenfalls auch in geänderter Form, eine wichtige Voraussetzung, um die Funktionstüchtigkeit der Anlage sicherzustellen. Die regelmässige Teilnahme an nationalen und internationalen Vergleichsmessungen mit entsprechenden Phantomen stellt die Anbindung der Messmethode und der Kalibrierung an die entsprechenden Normen sicher.

Literatur

- [1] Th. Lauffenburger: Calcium-Tracer: Untersuchungen des Stoffwechsels – Aussagekraft und Grenzen der Methode. Dissertation phil.-nat. Fakultät, Universität Basel (1975)
- [2] H.W. Nemeč, R. Fridrich, H. Mäcke: Vergleichsmessungen von Personen am Ganzkörperzähler nach dem KKW-Unfall von Tschernobyl. In: Radioaktivitätsmessungen in der Schweiz nach Tschernobyl und ihre wissenschaftliche Interpretation (Hrsg.: L. André, E. Born, G. Fischer), Bd. 1, Bundesamt für Gesundheitswesen, Bern (1987), 536-542
- [3] H.W. Roser: Dosimetriestelle für die Inkorporationsüberwachung: ein Konzept für den Ganzkörperzähler am Kantonsspital Basel. SGSMP-Tagungsbericht 1994, La Chaux-de-Fonds, 133-137.
- [4] H.W. Roser, H. W Nemeč: IGOR oder Das Phantom der Operationellen Internen Dosimetrie. SGSMP-Tagungsbericht 1998, Luzern, 213-217
- [5] Verordnung über die Personendosimetrie (Dosimetrieverordnung) vom 7. Oktober 1999, Eidgenössische Drucksachen- und Materialzentrale, Bern.
- [6] Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz, Berichte der Jahre 1995 bis 2001. Bundesamt für Gesundheit, Sektion Überwachung der Radioaktivität, Fribourg.