

*Int. Kongr. Ges. f. Strahlenschutz e.V. „20 Jahre nach Tschernobyl“ Berlin, 3.-5. April 2006*

## **Wie stichhaltig sind die Dosisbestimmungen für Bevölkerungen durch den Tschernobylfall? Vergleich der Ergebnisse durch physikalische und biologische Dosimetrie.**

Inge Schmitz-Feuerhake<sup>1</sup>, Wolfgang Hoffmann<sup>2</sup>, Sebastian Pflugbeil<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Peter-Michels-Str. 54, 50827 Köln, Germany; e-mail: [ingesf@uni-bremen.de](mailto:ingesf@uni-bremen.de)

<sup>2</sup>Institut für Community Medicine, Ernst-Moritz-Arndt Universität, Ellernholzstraße 1/2, 17487 Greifswald, Germany; e-mail: [wolfgang.hoffmann@uni-greifswald.de](mailto:wolfgang.hoffmann@uni-greifswald.de)

<sup>3</sup>Gormannstr. 17, 10119 Berlin, Germany; e-mail: [Pflugbeil.KvT@t-online.de](mailto:Pflugbeil.KvT@t-online.de)

*Nach Angaben des Komitees für Strahleneffekte der Vereinten Nationen UNSCEAR, auf das sich auch die Weltgesundheitsorganisation WHO bei ihrer Bewertung der Tschernobylfolgen stützt, ist die Strahlenbelastung der Bevölkerung in den kontaminierten Gebieten sehr gering gewesen – außer für die Schilddrüse in den Anrainerländern. Die hauptsächlichen Beiträge für die anderen Gewebe sollen – extern und intern - durch die Cäsiumisotope 137 und 134 erzeugt worden sein. Dosisrelevante Nuklide wie Sr-90 und Pu-239 sollen in größeren Entfernungen als 100 km vom Unfallort so gut wie keine Rolle gespielt haben. Selbst für die hochkontaminierten Regionen außerhalb der Evakuierungszone mit Cs-137-Bodenbelastungen von mehr als 37 kBq/m<sup>2</sup> ergab sich danach nur eine mittlere effektive Dosis von etwa 10 mSv. Für das Nachbarland Türkei und die weiter entfernt liegenden mitteleuropäischen Länder bleiben die Dosisangaben unter 1,2 mSv (effektive Dosis).*

*Diese Angaben stehen im Gegensatz zu Ergebnissen der biologischen Dosimetrie. Verschiedene Forschungsgruppen untersuchten strahlenspezifische zytogenetische Veränderungen in den Lymphozyten von Personen aus den kontaminierten Gegenden direkt nach dem Unfall oder einige Jahre später. In der Mehrheit der Untersuchungen waren die aufgetretenen Raten instabiler und stabiler Chromosomenaberrationen erheblich größer – und zwar um bis zu 1 bis 2 Größenordnungen – als anhand der physikalischen Dosisabschätzungen erwartet werden konnte. Des Weiteren wird in etlichen Studien über das Auftreten multiaberranter Zellen berichtet. Dies weist auf einen bedeutsamen Beitrag von inkorporierter Alphastrahlung hin und spricht dafür, dass die Dosisbeiträge von emittiertem Kernbrennstoff und von Brutprodukten bei der physikalischen Dosisberechnung nicht vernachlässigt werden dürfen.*

### **Einleitung**

Zahlreiche Untersuchungsergebnisse über Gesundheitsschäden in den durch den Tschernobylunfall kontaminierten Bevölkerungen werden von internationalen Expertengremien wie der internationalen Strahlenschutzkommission ICRP oder dem Strahlenkomitee der Vereinten Nationen UNSCEAR mit dem Hinweis bestritten, dass die

Die physikalisch ermittelten Dosen werden in den weiter entfernten europäischen Ländern von Tschernobyl zu kleiner als 1 mSv/Jahr angegeben (zum Vergleich: etwa 1 mSv/Jahr beträgt die natürliche Strahlenbelastung, wenn man das radioaktive Edelgas Radon in der Atemluft, das sich in unseren Häusern ansammelt, nicht mitzählt). Für die weniger betroffenen Gebiete der Länder Weißrussland, Ukraine und Russland wurden Gesamtdosen von einigen mSv ermittelt. Selbst in der hochkontaminierten Region um Gomel nahe dem Reaktor soll die Dosis im Mittel nur 13 mSv betragen haben.

Diese Werte wurden ermittelt, nachdem man die Zusammensetzung der Radionuklide in der Umgebung während und nach dem Unfall bestimmt und rekonstruiert hat sowie die Konzentration in den Nahrungsmitteln. Die Strahlenbelastung der Bevölkerung setzt sich dann aus den drei Anteilen zusammen: externe Bestrahlung durch Kontamination der Luft und des Bodens, interne durch Inhalation und Ingestion. Für die letzten beiden Beiträge werden die Dosisfaktoren der ICRP für Inhalation und Ingestion verwendet. Als physikalische Messmethoden in individuellen Personen standen Ganzkörperzähler zur Verfügung sowie die Elektronenspinresonanz (ESR) an Zähnen und Knochen. Beide Verfahren können jedoch den Beitrag inkorporierter Radioaktivität nur unvollständig erfassen.

Ganzkörperzähler sprechen nur auf Nuklide an, die eine durchdringende Gammastrahlung aussenden. Das ist für die Cäsiumisotope 137 und 134 der Fall, die die Hauptbeiträge zur internen Strahlenbelastung liefern sollen. Eine Schwierigkeit ist jedoch die geringe biologische Halbwertszeit von etwa 100 Tagen für inkorporiertes Cäsium. Reine Betastrahler wie das prominente Spaltprodukt Sr-90 oder Alphastrahler wie Plutonium und Uran sind durch dieses Verfahren nicht erfassbar.

Die ESR spricht ebenfalls auf durchdringende Strahlung an sowie in das Zahn- oder Knochengewebe eingebaute Betastrahler. Eine von der Strahlungsart unabhängige Dosisbestimmung ist auch damit nicht möglich, außerdem würden die sich nur auf Zahn oder Knochen beziehen. Da eine direkte Gesamtmessung der internen Dosis nicht möglich ist, wird diese anhand der Luftkonzentration und der Nuklide in der Nahrung errechnet. Die ICRP hat für jedes Nuklid Dosisfaktoren entwickelt, die angeben, wieviel Dosis in Sv ein Mensch während seines weiteren Lebens erhält, wenn er ein Bq des radioaktiven Stoffes entweder einatmet oder über den Magen/Darm-Trakt aufnimmt.

### Biologische Dosimetrie



**Abb.5** Chromosomenpräparat eines weißen Blutkörperchens mit 3 dizentrischen Chromosomen (schwarze Pfeile) nach Hochdosisbestrahlung (aus Fritz-Niggli 1997)  
Leere Pfeile: dazugehörige azentrische Fragmente

### Das Dosisargument

Trotz ihrer erdrückenden Fülle werden die genannten Ergebnisse nach Tschernobyl offiziell nicht zur Kenntnis genommen. Das gängige Argument ist, die Dosis sei viel zu klein, um einen erkennbaren Effekt hervorzurufen. Oder aber es wird behauptet, es gäbe keinen Zusammenhang zwischen der Höhe der Strahlendosis in verschiedenen Regionen und den dort beobachteten Effekten. Dabei wird immer davon ausgegangen, dass die Dosis hinreichend genau ermittelbar ist. Bei näherem Hinsehen erweist sich dieses jedoch nicht als stichhaltig.

Die Dosis ist physikalisch eine absorbierte Energie pro kg Gewebe. Bei einer Belastung durch Umweltradioaktivität muss man wissen, auf welchem Wege die Radionuklide in den Körper gelangen, wohin – d.h. in welche Organe und Gewebe – sie sich dort aufgrund ihres Stoffwechselverhaltens begeben und wie lange sie sich dort aufhalten. Dazu hat sie Modellrech-

nungen vorgenommen. Zugrundegelegt wird das Modell eines Standardmenschen (für verschiedene Altersstufen), in dem die Organe und Gewebe geometrisch nachgebildet werden, um sie mathematisch erfassen zu können.

Das Stoffwechselverhalten im Körper wird ebenfalls modellmäßig nachgebildet. Man kann sich vorstellen, dass dabei eine große Zahl von Parametern berücksichtigt werden muss, die erheblichen individuellen und milieubedingten Variationen unterliegen. Außerdem müssen Annahmen darüber gemacht werden, in welcher chemischen Verbindung und physikalischen Form die radioaktiven Substanzen vorliegen.

Die Modelle sind mit der Zeit immer komplizierter geworden. Besonders beim Einatmen radioaktiver Aerosole hat man das Problem, die Ablagerung und den Weitertransport sowie den Lösungsvorgang in den verschiedenen Bereichen der Lunge nachbilden zu wollen. 1994 hat die ICRP ein neues Lungenmodell angegeben, dessen Beschreibung ein Buch von fast 500 Seiten füllt. Seitdem hat in der Literatur eine Diskussion über die Verlässlichkeit der Dosisfaktoren eingesetzt, die ohne Vertrauensbereiche angegeben sind. Es stellt sich heraus, dass die Unsicherheiten einige Zehnerpotenzen betragen können.

Von offizieller Seite wird behauptet, die Dosisfaktoren seien für den Strahlenschutz anwendbar, weil sie „konservativ“ seien, d.h. sie liegen angeblich auf der sicheren Seite. Dafür gibt es jedoch keinerlei Beweis und so sind sie auch nicht gewonnen worden. Was wir aber inzwischen feststellen können, ist, dass die Angaben über die Strahlenbelastung der durch Tschernobylfallout betroffenen Bevölkerungen, die auf eben diese physikalische Weise gewonnen wurden, viel zu klein sind.

Eine solche Schlussfolgerung ist zwingend, wenn man Ergebnisse zur Kenntnis nimmt, die mit Hilfe der „Biologischen Dosimetrie“ gewonnen wurden. Ionisierende Strahlen erzeugen in den Zellen des Menschen sichtbare Chromosomendefekte. Eine bestimmte Sorte davon, „dizentrische“ Chromosomen, die sich in den weißen Blutkörperchen zeigen (Abb. 5), sind ein besonders empfindlicher und sicherer Indikator für eine Bestrahlung, da sie in unbestrahlten Personen eine nahezu konstante sehr niedrige Rate aufweisen (Hoffmann u. Schmitz-Feuerhake 1999). Dizentrische Chromosomen entstehen durch Zusammensetzen zweier Chromosomen mit abgebrochenen Enden, sie haben daher zwei Knotenpunkte (Zentromere). Die Bruchstücke ohne Zentromere sind ebenfalls im Präparat zu finden (azentrische Fragmente).

Eine solche Bewertung ist möglich, obwohl die Dosiswirkungsrelationen für den Fall inkorporierter Radionuklide nicht bekannt sind. Für eine homogene Niederdosisexposition durch locker ionisierende Strahlung (Gamma oder Röntgen) kann angenommen werden, dass die Rate dizentrischer Chromosomen in den Lymphozyten dosisproportional ist. In den weit von Tschernobyl entfernten europäischen Ländern wird angenommen, dass – mit Ausnahme bei der Schilddrüse – die Dosis vornehmlich durch die Isotope  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{134}\text{Cs}$  zustandekam, die sich im Körper gleichmäßig verteilen. Die Ganzkörper-Verdopplungsdosis bei kurzzeitiger homogener Bestrahlung locker ionisierender Art beträgt etwa 10 mSv (Hoffmann u. Schmitz-Feuerhake 1999). Erhöhungen der Rate dizentrischer Chromosomen bei Personen, die mehr als das Doppelte betragen, würden demnach bedeuten, dass die Ganzkörperdosis 10 mSv überschreitet. Derartige Erhöhungen sind nach Tschernobyl in Bevölkerungen mannigfach gefunden worden. Ergebnisse aus Österreich, Deutschland und Norwegen sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Eine bemerkenswerte Besonderheit in etlichen Chromosomenstudien ist, dass sie eine clusterartige Verteilung der dizentrischen Chromosomen in den Lymphozyten und multiaberrante Zellen festgestellt haben (Bochkov u. Katosova 1994; Hille et al. 1995; Salomaa et al. 1997; Scheid et al. 1993; Sevan`kaev et al. 1993; Stephan u. Oestreicher 1989; Verschaeve et al. 1993). Dieses zeigt einen bedeutenden Beitrag von inkorporierten Alphastrahlern an, welche bei den physikalischen Dosisabschätzungen eine untergeordnete Rolle spielen.

**Tab.7** Chromosomenaberrationen in Lymphozyten von Bewohnern Westeuropas nach dem Tschernobylunfall  
dics dizentrische Chromosomen, cr zentrische Ringe

Gebiet	Kollektiv	Datum der Studie	Methode	Resultate mittlere Erhöhung	Referenz	Bemerkungen
Salzburg, Österreich	17 Erw.	1987	dics+cr	ca. 4-fach	Pohl-Rüling et al. 1991	
Deutschland, südliche Regionen	29 Kinder u. Erw.	1987-1991	dics+cr	ca. 2,6-fach	Stephan, Oestreicher 1993	physikalische Dosisangabe <0,5 mSv
Norwegen, ausgewählte Regionen	44 Rentiersamen 12 Schafbauern	1991	dics+cr	10-fach	Brogger et al. 1996	physikalische Dosisangabe 5,5 mSv

Bochkov, N.P., Katosova, L.D. (1994) Analysis of multiaberrant cells in lymphocytes of persons living in different ecological regions. *Mutat. Res.* 323:7-10

Brogger, A., Reitan, J.B., Strand, P., Amundsen, I. (1996) Chromosome analysis of peripheral lymphocytes from persons exposed to radioactive fallout in Norway, *Mutat. Res.* 361:73-79

Hille, R., Wolf, U., Fender, H., Arndt, D., Antipkin, J. (1995) Cytogenetic examination of children in Ukraine. In *Radiation Research 1895-1995. Proceed. 10<sup>th</sup> Int. Congr. Radiation Res.* Würzburg, U. Hagen et al. (Hrsg.)

Hoffmann, W., Schmitz-Feuerhake, I. (1999) How radiation-specific is the dicentric assay? *J. Exp. Analysis Environ. Epidemiol.* 2:113-133

Padovani, L., Caporossi, D., Tedeschi, B., Vernole, P., Nicoletti, B., Mauro, F. (1993) Cytogenetic study in lymphocytes from children exposed to ionizing radiation after the Chernobyl accident. *Mutat. Res.* 319:55-60

Pilinskaia, M.A., Dybskii, S.S., Red'ko, D.V. (1999) The cytogenetic effect in a group of settlers from a 30-kilometer area of right of way. *Tsitol. Genet.* 33:39-44 (Russ.)

Pohl-Rüling, J., Haas, O., Brogger, A., Obe, G., Lettner, H., Daschil, F., Atzmüller, C., Lloyd, D., Kubiak, R., Natarajan, A.T. (1991) The effect on lymphocyte chromosomes of additional burden due to fallout in Salzburg (Austria) from the Chernobyl accident. *Mutat. Res.* 262:209-217

Salomaa, S., Sevan'kaev, A.V., Zhloba, A.A., Kumpusalo, E., Mäkinen, S., Lindholm, C., Kumpusalo, L., Kolmakow, S., Nissinen, N. (1997) Unstable and stable chromosomal aberrations in lymphocytes of people exposed to Chernobyl fallout in Bryansk. Russia, *Int. J. Radiat. Biol.* 71:51-59

Scarpato, R., Lori, A., Panasiuk, G., Barale, R. (1997) FISH analysis of translocations in lymphocytes of children exposed to the Chernobyl fallout: preferential involvement of chromosome 10. *Cytogenet. Cell Genet.* 79:153-156

Scheid, W., Weber, J., Petrenko, S., Traut, H., 1993, Chromosome aberrations in human lymphocytes apparently induced by Chernobyl fallout. *Health Phys.* 64:531-534

Serezhenko, V.A., Domracheva, E.V., Klevezal, G.A., Kuliko, S.M., Kuznetsov, S.A., Mordvintcev, P.I., Sukhovskaya, L.I., Schklovsky-Kordi, N.E., Vanin, A.F., Voevodskaya, N.V., Vorobiev, A.I. (1992) Radiation dosimetry for residents of the Chernobyl region: a comparison of cytogenetic and electron spin resonance methods. *Rad. Prot. Dosim.* 42:33-36

Sevan'kaev, A.V., Tsyb, A.F., Lloyd, D.C., Zhloba, A.A., Moiseenko, V.V., Skrjabin, A.M., Klimov, V.M. (1993) 'Rogue' cells observed in children exposed to radiation from the Chernobyl accident. *Int. J. Radiat. Biol.* 63:361-367

Stephan, G., Oestreicher, U. (1989) Chromosome investigation of individuals living in areas of Southern Germany contaminated by fallout from the Chernobyl reactor accident, *Mutat. Res.* 319:189-196

Verschaeve, L., Domracheva, E.V., Kuznetsov, S.A., Nechai, V.V. (1993) Chromosome aberrations in inhabitants of Byelorussia: consequence of the Chernobyl accident. *Mutat. Res.* 287:253-259

deVita, R., Olivieri, A., Spinelli, A., Grollino, M.G., Padovani, L., Tarroni, G., Cozza, R., Sorcini, M., Pennelli, P., Casparrini, G., Crescenzi, G.S., Mauro, F., Carta, S. (2000) Health status and internal radiocontamination assessment in children exposed to the fallout of the Chernobyl accident. *Arch. Environ. Health* 55:181-186