

# Strahlentelex

## mit ElektrosmogReport

Unabhängiger Informationsdienst zu Radioaktivität, Strahlung und Gesundheit

ISSN 0931-4288

[www.strahlentelex.de](http://www.strahlentelex.de) • [www.abstractnow.com](http://www.abstractnow.com)

Nr. 456-457 / 20. Jahrgang, 5. Januar 2006

### Strahlenfolgen:

Bergbau-Berufsgenossenschaft und Bundeswehr verweigern die Anerkennung von Grauen Star als strahlenverursachte Berufskrankheit. Das geschieht gegen den wissenschaftlichen Erkenntnisstand.

Seite 1

### Atomwirtschaft:

Die Ukraine setzt voll auf die nukleare Karte. Der Westen unterstützt sie dabei, Rußland hantiert am Gashahn und der ukrainische Präsident will die Sperrzone von Tschernobyl wieder besiedeln lassen.

Seite 7

### Personalien:

GRS-Geschäftsführer Lothar Hahn wurde zum neuen Vorsitzenden des CSNI der OECD NEA gewählt. Er löst damit Ashok Thadani von der US-amerikanischen atomrechtlichen Aufsichts- und Genehmigungsbehörde NRC ab.

Seite 8

**Diese Ausgabe mit Register für den Jahrgang 2005!**

**ab Seite 9**

## Strahlenfolgen

# Strahleninduzierte Katarakte (Grauer Star) als Folge berufsmäßiger Exposition und beobachtete Latenzzeiten

Von Inge Schmitz-Feuerhake und Sebastian Pflugbeil  
Gesellschaft für Strahlenschutz e.V.

Mitglieder der Gesellschaft für Strahlenschutz sind in letzter Zeit immer häufiger mit Fällen von Katarakterkrankungen befaßt worden, die bei beruflich Strahlenexponierten aufgetreten sind. Diese waren entweder im Uranbergbau bei der ehemaligen SDAG Wismut beschäftigt oder mit Radaranlagen der Bundeswehr oder der Nationalen Volksarmee (NVA) der DDR. Eine Berufsbedingtheit wurde von der Bergbau-Berufsgenossenschaft bzw. der Bundeswehr entweder mit Hinweis auf eine zu kleine Dosis und/oder das Fehlen der typischen Latenzzeit abgelehnt. Diese Auffassungen sind anhand des wissenschaftlichen Erkenntnisstandes nicht haltbar.

Strahlentelex, Th. Dersee, Waldstr. 49, 15566 Schöneiche b.Bln.  
Postvertriebsstück, DPAG, „Entgelt bezahlt“ A 10161 E

## Einleitung

In den Ländern der vormaligen Sowjetunion kam es durch die Anwendung der Nukleartechnik zu großräumigen radioaktiven Kontaminationen, durch die die dort lebende Bevölkerung einer chronischen Niederdosisbestrahlung ausgesetzt wurde. Bei diesen wurden zunehmend Linsen-

trübungen beobachtet. Siminov und Fedorow (1994) berichten über vermehrte Kataraktbildung in der sibirischen Region Semipalatinsk, in der die UdSSR in den Jahren 1949-62 Atomwaffentests durchführten. Shubik und Kvasova (1996) führen Kataraktbildungen bei Personen aus der relativ hoch belasteten russischen Region Bryansk nahe Tschernobyl ebenfalls auf die Strahlenexposition zurück. Auch eine umfangreiche Untersuchung an ukrainischen Kindern aus der 30 km-Evakuierungszone um den Reaktor durch Day und Mitarbeiter (1995) ergab eine signifikante Erhöhung von Linsen-trübungen. In Weißrussland stellten Anrinchin und Ostapova (1998) Katarakte bei tschernobylbelasteten Kindern fest.

Diese Befunde widersprechen älteren Annahmen über die Kataraktbildungen durch ionisierende Strahlung und haben die Frage nach derjenigen Dosis und Dosisleistung neu aufgeworfen, bei der ein solcher Effekt auftreten kann.

### Frühere Annahmen über eine Schwellendosis bei der Kataraktbildung

Trübungen der Augenlinse sind schon seit sehr langer Zeit als typischer Strahlenschaden bekannt und wurden auch nach beruflicher Strahlenexposition beschrieben, wobei man annahm, dass sie nur bei sehr hoher Dosis entstehen. Strahlenkatarakte wurden daher zu den „deterministischen“ Effekten gezählt. Dieser Begriff wurde von der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP eingeführt und bedeutet, dass es sich um einen Strahlenschaden handelt, der ab einer bestimmten Dosis mit Sicherheit eintritt. Unterhalb dieser Dosis – der Schwellendosis – ist kein Schaden zu erwarten. Der deterministische Schaden steht im Gegensatz zum „stochastischen“ Schaden, wie er für strahleninduzierte Krebserkrankungen angenommen wird. Wird ein großes Kollektiv mit einer geringen Dosis bestrahlt, läßt sich nicht vorhersagen, bei welchem Individuum der Schaden eintritt, nur eine Wahrscheinlichkeit läßt sich angeben. Die Anzahl der Schadensfälle steigt mit der Gesamtdosis im Kollektiv, jedoch bei der halben Dosis gibt es immer noch die halbe oder jedenfalls eine positive Schadensrate oberhalb Null. Daher besteht kein Schwellenwert, die Dosiswirkungskurve beginnt ab der Dosis Null zu steigen.

Das Komitee für Strahleneffekte der Vereinten Nationen UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Ionizing Radiation), das regelmäßig Berichte über seine Bewertung von Strahlenfolgen herausgibt, hat für Katarakte 1982 eine Schwellendosis von 2 Sievert (Sv) bei Akutbestrahlung (hohe Dosisleistung wie z.B. bei Strahlentherapie) und von 4 Sv bei geringer Dosisleistung angenommen (UNSCEAR 82). Diese Auffassung hat es bis heute nicht revidiert. Auf diese Angabe stützt sich of-

fenbar die Radarkommission, die eingesetzt wurde, um eine Bewertung der Gefährdung durch Strahlung in früheren Radareinrichtungen der Bundeswehr und der NVA vorzunehmen (Bundesamt für Strahlenschutz 03).

Bei der Ableitung der Schwellendosis hat sich UNSCEAR auf Befunde bei den japanischen Atombombenüberlebenden von Hiroshima und Nagasaki berufen, bei denen die Exposition mit hoher Dosisleistung erfolgte. Bei diesen wurden jedoch später wesentlich geringere Schwellendosiswerte abgeleitet. Für Gammastrahlung erhielten die Autoren 0,73 Gray (Gy) (=0,73 Sv) und für Neutronen 0,07 Gy (Otake 91). Die ICRP hat sogar einen Schwellenwert von 5 Sv bei Akutbestrahlung angegeben und eine notwendige Dosis von über 8 Sv bei geringer Dosisleistung (1991). Diese Auffassung hat sie aber in ihrer Publikation Nr. 92 von 2003 mit Hinweis auf die im folgenden angegebenen Erkenntnisse von Worgul und Mitarbeitern in Frage gestellt.

### Folgerungen aus Niederdosisbefunden über Katarakte

Worgul et al. (1996) haben darauf hingewiesen, dass sich die japanischen Ergebnisse auch mit Dosiswirkungskurven ohne Schwelle vereinbaren lassen. Sie plädieren aufgrund der Effekte in Semipalatinsk und aufgrund eigener experimenteller Untersuchungen über den Entstehungsmechanismus von Katarakten dafür, diese als stochastisch einzustufen. Dieses würde bedeuten, dass sich die Katarakt aus einer einzigen genetisch veränderten Zelle entwickeln kann, wie man es bei strahleninduziertem Krebs annimmt.

Über die Dosis der Bevölkerung in den kontaminierten Gebieten der ehemaligen UdSSR gibt es verschiedene Angaben. Die höchsten wurden durch Biologische Dosi-

metrie mittels dizentrischer Chromosomen in Lymphozyten erhalten. Für die Region Semipalatinsk liegen sie bei 1 Sv (Shevchenko 98), in der Umgebung von Tschernobyl bei 0,1 Sv (Stephan 89, Salomaa 97), in der Evakuierungszone bei 0,4 Sv (Mikhalevich 00). Damit sind sie ebenfalls wesentlich niedriger, als nach UNSCEAR für eine Kataraktbildung zu fordern wäre.

### Erscheinungsbild strahleninduzierter Linsen-trübungen

Die Augenlinse ist ein in sich geschlossenes eingekapseltes Zellsystem. Es besteht im Innern aus transparenten Fibrillen, die aus oberflächlich liegenden differenzierten Epithelzellen gebildet werden. Die Zellteilung erfolgt in der germinativen Zone des Linsenepithels am Linsenäquator. Die germinativen Epithelzellen sind besonders strahlenempfindlich.

Wegen der langen Zeitdauer und verschiedenen Stadien, in denen sich Katarakte ausbilden, sowie auch unterschiedlichen Depositionen der geschädigten Zellen kann es eine ganz spezifische Erscheinungsform bei einer Strahlenursache nicht geben, wie manche Gutachter behaupten. Wegen ähnlicher Erscheinungsbilder können Strahlenkatarakte mit Trübungen, die bedingt durch Verletzungen oder verschiedene Augenkrankheiten und auch als „Altersstar“ auftreten, verwechselt werden (Griffith et al. 85, Worgul et al. 96, Hall et al. 99).

Man hat früher angenommen, dass die durch Strahlung ausgelösten Trübungen ausschließlich „posteriore“ Katarakte bilden, d.h. nach Bestrahlung wandern geschädigte Zellen des Epithels und Abbauprodukte zum hinteren Linsenpol und sammeln sich dort an. Von dort aus erfolgt dann eine Ausbreitung über die gesamte Linse und führt schließlich zur vollständigen Trübung.

Überwiegend posteriore Katarakte waren bei den japanischen Atombombenüberlebenden beobachtet worden. Im Unterschied dazu gibt es Trübungen der Rindenschicht der Linse (kortikale Katarakte) oder des Linsenkerns, einem Gebiet mit verdichteten Zellfasern im Innern (nukleare Katarakte). In einer Nachuntersuchung an 484 Kindern, die 34 bis 74 Jahre vorher einer Strahlentherapie unterzogen worden waren, stellten Hall und Mitarbeiter (1999) nicht nur posteriore, sondern auch signifikant erhöhte kortikale Katarakte fest. Nachuntersuchungen in den Jahren 2000 bis 2002 an Atombombenüberlebenden, die im Kindesalter exponiert worden waren (unter 13 Jahre), ergaben erhöhte Raten beider Katarakttypen (Minamoto 04). Nukleare Katarakte waren ebenfalls erhöht, aber nicht signifikant.

Letztere ergaben sich jedoch durch hochenergetische geladene Teilchen aus dem Weltraum bei Astronauten und Kosmonauten (Cucinotta 2001) sowie bei Piloten im kommerziellen Flugbetrieb (Rafnsson 2005). Piloten sind einer stärkeren Höhenstrahlung ausgesetzt als Menschen auf der Erdoberfläche. Diese Höhenstrahlung entsteht durch die Wechselwirkung der kosmischen Strahlung mit der Atmosphäre. Die Exposition in Flughöhe ist dennoch innerhalb des Flugzeugs gering, sie beträgt nur einige Millisievert (mSv) pro Jahr. Sie ist weitgehend durch Neutronen bestimmt, die zur dicht ionisierenden Strahlung gezählt werden.

### Weitere Befunde über Linsentrübungen durch niedrige Strahlendosen

Wilde und Sjöstrand untersuchten eine Kohorte von Erwachsenen, die als Kind in den Jahren 1930 bis 1964 wegen Blutschwamms mit Radiumnadeln einseitig bestrahlt worden waren (1997). Die Gammadosis der Augen auf

der nicht betroffenen Seite betrug nur 1 bis 3 Prozent derjenigen auf der therapierten Seite und wurde zu 0,02 bis 0,12 Sv bestimmt. Auch in diesen Augen zeigte sich eine um 65 Prozent erhöhte Rate von leichten bis schwereren Linsentrübungen.

Zur Bewältigung der Reaktor-katastrophe von Tschernobyl wurden etwa 800.000 Personen – meistens junge Männer – eingesetzt, die sogenannten Liquidatoren. Nicht alle erhielten unmittelbar lebensbedrohende Strahlendosen. Linsentrübungen und andere Augenschäden waren auch bei ihnen auffällig. 1995 wurde ein Projekt Ukrainisch-Amerikanische Tschernobyl-Augenstudie (UACOS) begonnen, in dem die Augengesundheit der Liquidatoren verfolgt wird. Auf einem Workshop von 1997 (Junk et al. 1999) berichteten Buzunov und Fedirko über ihre Methodik und Ergebnisse an 2.000 Liquidatoren, die sie bis dahin untersucht hatten. Bis 1998 wurden Befunde an weiteren 3.000 Liquidatoren erhoben, die Augendosen lagen im Bereich 0,02 bis 2 Sv. Die Autoren kommen zu dem Schluß, dass für Katarakte ein Dosiswirkungszusammenhang ohne Schwelle vorliegt (Fedirko, Buzunov 2003).

Über erhöhte Kataraktraten berichten auch Eglite und Mitarbeiter aus einer Gruppe von etwa 6.000 litauischen Liquidatoren, die unter Bedingungen arbeiteten, die durchweg niedrigere Dosen zu Folge hatten (1999). Der Dosisbereich für die untersuchten Augen wurde zu 0,01 bis 0,5 Sv abgeschätzt.

Lodi und Mitarbeiter (1999) untersuchten 132 strahlenexponierte Personen des medizinischen Personals mit einem Durchschnittsalter von 42 Jahren, deren mittlere Dosis zu 16 mSv ermittelt wurde und die im Mittel etwa 14 Jahre dort gearbeitet hatten. Sie fanden keine ausgeprägten Katarakte aber Trübungserscheinungen, die sie mit der Strahlenexpo-

sition in Verbindung bringen. Durovic und Mitarbeiter (2004) untersuchten ebenfalls die Augen bei medizinischem Personal, das langjährig strahlenexponiert war. 33 Personen waren in der Röntgendiagnostik und weitere 33 in der Nuklearmedizin eingesetzt. Es ergab sich eine erhöhte Rate an Linsentrübungen, die die Autoren als Vorstufe zur Kataraktbildung einordnen.

Klein und Mitarbeiter hatten 1993 Augenbefunde an 4.926 Personen im Alter von 43 bis 84 Jahren mitgeteilt, die sie nach vorangehenden röntgendiagnostischen Untersuchungen befragt hatten. Es hatte sich eine signifikante Erhöhung von Linsentrübungen nach CT-Untersuchungen des Kopfes ergeben. Die Röntgen-Computertomographie (CT) gehört zu den diagnostischen Untersuchungen mit der höchsten Strahlenbelastung und führt zu Dosen, die das 10- bis 100-fache einer normalen Röntgenaufnahme betragen. Nach späteren Angaben der Autoren (2000) lag die Augendosis bei den CT-Patienten bei 20 bis 80 mSv pro Untersuchung. Es ergaben sich folgende Anstiege: posteriore subkapsuläre Trübungen um 45 Prozent (signifikant), nukleare sklerotische Trübungen um 28 Prozent (signifikant), kortikale Trübungen um 17 Prozent (nicht signifikant).

Die These, dass die Strahlung ursächlich sei, wurde in der späteren Arbeit zurückgenommen. Die Autoren beriefen sich auf die nicht erreichte Schwellendosis und teilten mit, dass sie den Effekt in der Folgeuntersuchung nicht bestätigen konnten. Als mögliche Erklärung für den unbestritten hohen Effekt in der 1. Untersuchung nennen sie sklerotische Veränderungen, die bei Patienten kurz vor dem Ableben auftreten. Eine Entwarnung bezüglich der Augenbelastung mit diagnostischer Röntgenbestrahlung hielten sie allerdings für verfrüht.

Über Katarakte, die auf be-

rufsbedingte Inkorporation von alphastrahlenden Radionukliden zurückgeführt werden, siehe unten.

### Latenzzeiten bei Strahlenkatarakten

Im UNSCEAR-Report von 1982 werden Latenzzeiten von 0,5 bis 35 Jahren berichtet. Diese Angabe wurde von den Autoren Merriam und Focht übernommen. Diese untersuchten 173 Patienten, davon 100 mit Katarakt, die hohe strahlentherapeutische Dosen erhalten hatten (1957). Ferner beriefen sie sich auf ältere Literaturangaben (1972).

Von diesen Autoren stammt auch die Angabe von UNSCEAR 1982, dass die Latenzzeit dosisabhängig sei. Diese Aussage wird ebenfalls von der Radarkommission übernommen. Merriam et al. haben 1972 ihre Ergebnisse so interpretiert, dass sich ein umgekehrt proportionaler Zusammenhang zwischen Dosis und Latenzzeit herleiten ließe. Sie haben in ihrem Untersuchungsgut zwei Dosisgruppen gebildet und in ihnen die **mittlere** Latenzzeit bestimmt, die bei der höheren Dosis nur halb so groß war. Dieses besagt aber keineswegs, dass bei bekannter Dosis die Latenzzeit festgelegt ist. Auch ein Zusammenhang mit dem Mittelwert der Latenzzeit kann nicht zwingend abgeleitet werden, da die Untersuchungsdauer für das Kollektiv nicht lang genug war, sie betrug im Mittel nur 9 Jahre.

Latenzzeitverteilungen kann man nur in solchen Kollektiven bestimmen, die man bis zum Ende der Lebensdauer auf Katarakte überprüft. Eine solche Studie gibt es unseres Wissens nicht. Die Beobachtung von Merriam und Focht ist unter Umständen nur ein statistischer Artefakt, der sich daraus ergibt, dass bei höherer Dosis mehr Katarakte entstehen und damit in einer begrenzten Beobachtungszeit auch mehr mit kurzer Latenzzeit, so dass sich ein kürzerer Mittelwert herleitet.

Ein Problem bei retrospektiven Studien ist zudem, dass ein grauer Star sich üblicherweise langsam entwickelt und von den Betroffenen erst Jahre nach dem Beginn als gravierende Störung wahrgenommen wird. Der Zeitpunkt der Entstehung kann dann nicht angegeben werden.

Es ist üblich, zur Beurteilung von Strahlenschäden die Überlebenden der Atombombenabwürfe auf Hiroshima und Nagasaki heranzuziehen. Die ersten Augenuntersuchungen wurden in den Jahren 1949 bis 1962 durchgeführt und 1963/64 fortgesetzt. An den bis dahin festgestellten 84 Personen mit Katarakt führten Otake und Schull 1982 eine Nachuntersuchung durch (1991). Eine Angabe von Latenzzeiten ist nach Aussage der Autoren nicht möglich, da die Untersuchungen nicht kontinuierlich waren, sondern in großem zeitlichem Abstand erfolgten.

Bei einer Fortsetzungsstudie an einem größeren Hiroshima/Nagasaki-Kollektiv in den Jahren 2000 bis 2002, also 55 bis 57 Jahre nach der Exposition, wurden weitere Kataraktfälle oberhalb des Erwartungswertes festgestellt (Minamoto 2004). Die letzte Kontrolle hatte in den Jahren 1978 bis 1980 stattgefunden, somit 33 bis 35 Jahre nach Exposition. Die neuen Katarakte haben sich also mit Latenzzeiten zwischen 33 und 57 Jahren nach Bestrahlung entwickelt.

### Beid- und einseitiges Auftreten strahlenbedingter Katarakte

Einige Gutachter behaupten, strahleninduzierte Katarakte müßten als deterministischer Effekt bei gleicher Augendosis in beiden Augen gleichzeitig auftreten. In der Tat hatte die Untersuchung an den japanischen Atombombenüberlebenden 1982 ergeben, dass in den 76 Fällen mit diagnostiziertem Katarakt bei 67 beide Augen betroffen waren, also 88 Prozent, und eine hohe

Korrelation bezüglich des Grades der Trübungen bestand (Otake, Schull 1990). Dabei betrug die Häufigkeit selbst in der höchsten Dosisgruppe von 5 Sv nur 42 Prozent, d.h. über die Hälfte der Personen hatten bis 37 Jahre nach der Exposition keine erkennbare Linsen-trübung entwickelt. In der genannten Untersuchung von Minamoto u.a. in den Jahren 2000 bis 2002 bestätigte sich die hohe Rate beidseitiger und gleichgradig entwickelter Trübungen (Niriishi 2005).

Daher kann es sich weder um einen deterministischen Effekt im klassischen Sinne handeln, bei dem man ein Eintreten der Schädigung bei jedem bestrahlten Individuum ab einer bestimmten hohen Dosis erwartet, noch um eine stochastische Wirkung im einfachsten Sinne, bei dem der Schaden durch eine Kleinstdosis initiiert werden kann und zu statistisch unabhängigen Ereignissen in beiden Augen führen müßte.

Allerdings können die Studien keine Aussage darüber machen, in wie weit die beidseitige Entstehung der Katarakte zeitlich synchron verlief. Bei Otake und Schull waren die Augen erst ab 1975 und damit 7 Jahre nach der letzten Kontrolle erneut untersucht worden, bei Minamoto u.a. lag es 20 Jahre und mehr zurück. Im Fall eines Strahlenunfalls mit Americium-241-Exposition wurde eine Katarakt im einen Auge 1,5 Jahre und im anderen Auge 2,8 Jahre danach entfernt (Filipy et al. 1995).

Hall und Mitarbeiter untersuchten etwa 500 Personen sehr lange Zeit (34 bis 74 Jahre) nach einer Strahlentherapie, die sie als Kind im Kopfbereich erhalten hatten (1999). Die Katarakthäufigkeit war um 84 Prozent erhöht. Nur 64 Prozent der Betroffenen hatten beidseitig Katarakte. Allerdings kann man in diesem Fall – im Gegensatz zu den Bedingungen in Hiroshima und Nagasaki – nicht annehmen, dass beide Augen immer die gleiche Do-

sis erhielten, da die Bestrahlung mit Röntgen oder Radium wegen Blutschwamms erfolgte.

Die genannten Bestrahlungen erfolgten mit hoher Dosisleistung. Daraus kann man nicht ableiten, wie die Entstehung von Katarakten bei einer Exposition mit niedriger Dosisleistung verläuft. Aus dem Berufsmilieu wird über einseitige Kataraktbildungen berichtet (Lodi et al. 1999).

### Exposition der Augenlinse im Uranerzstollen

Beim Aufenthalt im Uranbergwerk gibt es für die Augenlinse neben der Gammastrahlung, die durch das radioaktive Erz ausgesandt wird, noch zwei weitere beachtenswerte Belastungspfade: durch Diffusion des Edelgases Radon, das ein Folgeprodukt von Uran ist, in die Linse und durch Inkorporation radioaktiven Staubes.

Edelgase sind sehr gut wasserlöslich, und zwar um so besser, je höher ihr Atomgewicht ist. Daher nehmen die verschiedenen Körpergewebe Radon auf, wobei die Zusammensetzung des Gewebes die Löslichkeit im Vergleich zu reinem Wasser modifiziert, die des weiteren von der Temperatur des Gewebes abhängt. Fettreiches Gewebe löst sehr viel mehr Radon als Wasser. Der Löslichkeitskoeffizient für die Augenlinse, deren Fettgehalt vernachlässigbar sein dürfte, ist in der Literatur nicht angegeben. Wir setzen daher den Löslichkeitskoeffizienten für Wasser bei 3 Grad Celsius ein, der 27 Prozent beträgt (Nussbaum 58).

In einer Radonatmosphäre muß das Edelgas zunächst die Hornhaut durchdringen, die etwa 0,5 Millimeter (mm) dick ist und zu 78 Prozent aus Wasser besteht (ICRP 75), und dann das Wasser der vorderen Augenkammer, um in die Linse zu gelangen. Da alle diese Bereiche nicht durchblutet sind, findet dort nur ein relativ langsamer Stoffaustausch statt und man kann da-

von ausgehen, dass sich zwischen Außenatmosphäre und Innenkonzentration ein Gleichgewicht entsprechend der Löslichkeit einstellt. Wenn das gelöste Radon im Gleichgewicht mit seinen kurzlebigen Folgeprodukten steht, werden pro Zerfall 19,2 Megaelektronenvolt (MeV) an Alphaenergie ausgestrahlt. Für eine Radonkonzentration von 10 Kilobecquerel pro Kubikmeter ( $\text{kBq/m}^3$ ) würde eine 27-prozentige Löslichkeit im Linsenepithel eine Dosisleistung von  $2,99 \cdot 10^{-8}$  Gray pro Stunde (Gy/h) ergeben, bei 1.800 Arbeitsstunden im Jahr (HVBG 98)  $5,34 \cdot 10^{-2}$  Milligray (mGy) pro Jahr und mit dem Wichtungsfaktor  $w_R=20$  für Alphastrahlung nach ICRP 1,08 mSv pro Jahr.

Da bei dicht ionisierender Strahlung ein umgekehrter Dosisrateneffekt beobachtet wird (bei chronischer Bestrahlung mit abnehmender Dosis nimmt die Relative Biologische Wirksamkeit (RBW) der dicht ionisierenden Strahlung zu und damit die Wirkung pro Dosisinheit) und die RBW für Katarakte bei Neutronenexposition Werte bis über 100 erreicht (Worgul et al. 96), setzen wir einen 5-fach größeren  $w_R$ -Wert für die Alphastrahlung ein, da man bei ihr ähnlich überhöhte Wirkungen im Vergleich zu Gammastrahlung unterstellen muß. Somit erhält man 5,40 mSv pro Jahr für die Augenlinse bei Aufenthalt in einer Radonkonzentration von  $10 \text{ kBq/m}^3$ . Bei hoher Radonkonzentration und jahrelanger Tätigkeit kann somit ein solcher Dosisbeitrag für die Kataraktbildung relevant werden. In den Stollen der SDAG Wismut wurden bis Ende der 1960er Jahre Radonkonzentrationen bis über  $300 \text{ kBq/m}^3$  gemessen (HVBG 98), darin würde die jährliche Exposition entsprechend mehr als 160 mSv betragen.

Hinzu kommt die Außenbestrahlung des Auges beim Aufenthalt in der Radonatmosphäre. Radon sendet auch

Beta- und Gammastrahlung aus, die dann das Linsenepithel erreichen. Die Beta-submersion (Betadosisleistung) für die Augenlinse würde bei einer Radonkonzentration von  $10 \text{ kBq/m}^3$  und einer Aufenthaltsdauer von 1.800 Stunden 0,29 mSv pro Jahr betragen, bei  $300 \text{ kBq/m}^3$  ergäbe sich 8,7 mSv pro Jahr. Die Gammastrahlung wäre demgegenüber vernachlässigbar (BMJ 89).

Eine noch bedeutsamere Strahlenbelastung der Augenlinse ergibt sich möglicherweise aus der Inkorporation von alphastrahlenden Feststoffnukliden, wobei die relevanten Stoffe im Uranstaub des Wismutbetriebes untertage neben Uran-238 die Folgeprodukte Uran-234, Thorium-230, Radium-226 und Polonium-210 sind, ferner das Uran-235 und sein Folgeprodukt Protactinium-231 (HVBG 98). Aus der Literatur ist bekannt, dass sich Radionuklide aus der Blutbahn im Auge einlagern. In Versuchen an Hunden und anderen Säugetieren zeigte sich, daß Folgeprodukte der Uranreihe und Transurane nach intravenöser Injektion auch in die Augen gelangen und von dort nur sehr langsam abtransportiert werden (Griffith et al. 1985). Des weiteren wurde von Griffith und Mitarbeitern im Fall eines 47-jährigen Mannes mit Katarakt, der eine Plutoniuminkorporation erlitten hatte, eine Deposition dieses Radionuklids im Auge nachgewiesen.

Für Radium-226, dem Folgeprodukt von Uran-238, wurde bei Rindern und bei zwei Versuchspersonen eine gleiche Konzentration in den Augen gewebe wie in den Knochen festgestellt (Hunt 1967). Weitere Befunde aus der experimentellen Forschung dazu werden in einer Arbeit genannt, die über Katarakte in einem klassischen Untersuchungskollektiv der Strahlenforschung, den Ziffernblattmalerinnen, berichtet (Adams et al. 1983). In den 20er Jah-

ren des vorigen Jahrhunderts wurden zahlreiche junge Frauen damit beschäftigt, radiumhaltige Leuchtfarben für Uhren aufzutragen. Dabei nahmen sie Radium in den Körper auf. Die Autoren führen die Kataraktbildung auf die Inkorporation zurück.

Bei einem weiteren menschlichen Kollektiv wurden nach Radiuminkorporation Katarakte festgestellt (Spiess et al. 1978). Jugendliche Patienten hatten zur Therapie von Morbus Hodgkin und anderer Erkrankungen Injektionen mit dem kurzlebigen Radiumisotop 224 erhalten, das ebenfalls ein Alphastrahler ist.

Dass sich inkorporiertes Uran zum Teil im Augengewebe ablagert, bestätigte sich in einer Untersuchung, die Russell und Kathren (2004) an einem Mann durchführten, der 28 Jahre lang in einer uranverarbeitenden Anlage gearbeitet hatte und im Alter von 83 Jahren verstorben war. Bei der Autopsie zeigte sich eine verbliebene Lungendeposition, die dem 250-fachen des nach ICRP-Angabe normalen Urangehalts entsprach, verbunden mit einer milden Form von Staublunge und akuten Gefäßstauungen in Gewebsbereichen der Lunge. Dieser Fall entstammt dem U.S. Transuran- und Uranregister (USTUR), mit Hilfe dessen die gesundheitlichen Auswirkungen des berufsmäßigen Umgangs mit diesen Stoffen untersucht werden sollen. In einer Studie an 113 derart erfaßten Rentnern wurde eine signifikant erhöhte Kataraktbildung festgestellt, die dosisabhängig war (Jacobson 2005).

Bis in die 1970er Jahre haben die Inkorporationen an Uran-238 bei Vollbeschäftigung in den Betrieben der Wismut nach Angaben des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften Werte von einigen 100 Bq pro Jahr erreicht. Nimmt man nach Hunt (siehe oben) an, dass die Augendosis der Knochendosis entspricht, käme man bei In-

orporation von 100 Bq Uran-238 pro Jahr und den entsprechenden Anteilen der Folgeprodukte auf eine Dosis von 12,6 mGy pro Jahr (BMJ 89). Mit  $w_R=20$  ergäbe das 252 mSv und mit  $w_R=100$  eine Augendosis von 1,26 Sv pro Jahr. Dieser Effekt könnte somit zu wesentlich höheren Expositionen geführt haben als die Radondiffusion. Allerdings ist dieser Belastungspfad beim Menschen weitgehend unerforscht und quantitativ derzeit schwer einzuschätzen.

### Katarakte durch radiumhaltige Leuchtfarben

Aus dem Radarbericht geht hervor, dass das Radarpersonal bei der Bundeswehr auch mit radiumhaltigen Leuchtfarben umging, die zur Beschriftung von Bedienungskonsolen usw. benutzt wurden. Bis 1980 habe ein weit verbreiteter Einsatz vorgelegen und es sei durch das Auskratzen, Abschmiegeln und Wiederauftragen der Farben ohne adäquate Strahlenschutzvorkehrungen eine hohe Strahlenbelastung möglich gewesen. Danach sollen ausreichende Maßnahmen zum Strahlenschutz beim Umgang mit diesen Teilen ergriffen worden sein.

In diesem Zusammenhang verweisen wir auf die schon genannten Kataraktbefunde bei den Zifferblattmalerinnen (Adams et al. 1983) und die übrigen Angaben im vorigen Abschnitt über Radionuklide, die sich nach Inhalation oder Ingestion auch in den Augen ablagern.

### Katarakte durch nicht-ionisierende Strahlung

Die Radartechnik wird seit Jahrzehnten in vielen Bereichen des Militärs angewandt. Sie benutzt elektromagnetische Wellen des Frequenzbereichs 500 Megahertz (MHz) bis 40 Gigahertz (GHz) mit entsprechenden Wellenlängen von 60 Zentimeter (cm) bis 7,5 Millimeter (mm). (In an-

deren Anwendungszusammenhängen spricht man bei diesen Frequenzen von Mikrowellen.)

Für die Radarkommission sind Katarakte die einzigen Gesundheitsschäden, die durch die Hochfrequenzstrahlung der Radarsender entstehen können. Jedoch hält sie nur die Wärmewirkung und damit eine relativ hohe Leistungsflussdichte für kataraktauslösend. Nach ihrer Empfehlung ist eine Katarakt bei den Radarsoldaten anzuerkennen bei

- „einer mittleren Leistungsflussdichte oberhalb 100 Watt pro Quadratmeter ( $W/m^2$ ) ( $=10 \text{ mW/cm}^2$ ) und einer Exposition über längere Zeiträume (mehrere Stunden pro Tag über mehrere Monate) oder
- einer mittleren Leistungsflussdichte oberhalb 1.000  $W/m^2$  ( $=100 \text{ mW/cm}^2$ ) über wenige Minuten.“

Sie beruft sich dabei auf Angaben der Weltgesundheitsorganisation (WHO) von 1993. Diese hatte eine Literaturstudie zu Tierexperimenten unternommen und nach derjenigen Leistungsdichte gefragt, bei der kein Effekt mehr beobachtet worden war. Laut WHO waren in den bis dahin bekannten Untersuchungen am Menschen Katarakte nur oberhalb von 1.000  $W/m^2$  aufgetreten.

Diese Ansicht ist allerdings anhand der angegebenen Studien mit Befund einer Wirkung nicht nachvollziehbar. Cleary und Pasternack (1966) fanden bei 736 Beschäftigten in der Mikrowellenindustrie, die im Mittel 33 Jahre alt waren, Linsentrübungen und Defekte am hinteren Linsenpol, die sie als Vorstufen zur Kataraktbildung und Anzeichen vorzeitiger Linsenalterung interpretierten. Leistungsflussdichten wurden nicht angegeben.

Majewska (1968) untersuchte 200 Beschäftigte, die beruflich mikrowellenexponiert waren. Sie kam zu dem Ergebnis, dass Linsentrübungen bei sehr kleiner Strahlungsintensität

innerhalb des zulässigen Grenzwerts eintreten, wenn eine mehrjährige Exposition erfolgt.

Appleton and McCrossan veröffentlichten 1972 ihr Ergebnis über Augenuntersuchungen an 91 Personen des militärischen Radarpersonals. Sie stellten keine Schädigungen im Vergleich zu Kontrollpersonen fest. Frey (1985) kritisierte ihre Methodik und Auswertung und warf ihnen geschönte Interpretation im Sinne ihrer Auftraggeber, der U.S.- Armee, vor. Er leitete aus den registrierten Häufigkeiten in ihren Exponierten und Kontrollen eine 2-fach signifikant erhöhte Rate an Linsentrübungen ab. Dieses Ergebnis wurde wiederum von Wike und Martin (1985) bestritten, ohne auf das eigentliche Argument von Frey einzugehen. Allerdings hatten Appleton und Mitarbeiter 1975 eine erweiterte Studie an 1.542 Radarsoldaten mit negativem Ergebnis vorgelegt. Diese wurde von Frey lediglich pauschal und damit nicht nachvollziehbar abqualifiziert. Hollows und Douglas (1984) untersuchten Beschäftigte aus der Radiobranche, die Sendemasten installieren und warten. Der Frequenzbereich wird zu 0,56 bis 527 MHz angegeben und die Intensität in der Arbeitsumgebung zu 0,08  $mW/cm^2$  bis 3.956  $mW/cm^2$ . Es zeigte sich eine 2-fach signifikant erhöhte Rate posteriorer Katarakte.

Im Gegensatz zu der Einschätzung durch die WHO waren in der Nationalen Volksarmee der DDR Katarakte ein anerkanntes Berufsrisiko für das Radarpersonal bei mehrjähriger Exposition, ohne Forderung nach einer Mindestintensität (Voigt 1966; Voigt 1968; Behnisch 1968).

Anhand einer Literaturübersicht von 1988 diskutieren Lipman und Mitarbeiter verschiedene Entstehungsmechanismen für mikrowelleninduzierte Katarakte. Sie führen Belege dafür an, dass auch

nicht-thermische Effekte nach Mikrowellenexposition zu pathologischen Veränderungen führen, die Kataraktbildung auslösen oder fördern. In den nachfolgenden Jahren wird durch verschiedene experimentelle Studien gezeigt, dass Mikrowellenintensitäten im Bereich nur weniger  $\text{mW}/\text{cm}^2$  irreversible mikroskopisch erkennbare Veränderungen – Trübungsflecke und Vakuolen – in den Fibrillen der Linse bewirken (Prost et al. 1994; Inalöz et al. 1997; Ye et al. 2002; Dovrat et al. 2005). Sie werden von den Autoren als kataraktbildend angesehen. Man muß daher als wahrscheinlich ansehen, dass auch die menschliche Augenlinse durch Mikrowellen im Milliwatt-Bereich (mW) und daher unterhalb der von der Radarkommission genannten Leistungsflussdichten getrübt werden kann.

### Schlußfolgerungen

1. Verschiedene neuere Erfahrungen aus Niederdosisexpositionen, insbesondere aus radioaktiv kontaminierten Gegenden, erfordern eine Neu-einschätzung der Strahlenschädigung der Augenlinse. Die früher angenommenen Schwellendosen sind nicht mehr haltbar.
2. Der Organdosisgrenzwert für das Auge bei beruflich Strahlenexponierten, der nach der deutschen Strahlenschutzverordnung 150 mSv pro Jahr beträgt, ist nicht länger verantwortbar.
3. Die Autoren Worgul et al. haben plausible Argumente erarbeitet, strahlenbedingte Katarakte als stochastischen Effekt einzustufen. Daher sollte man von einem Dosiswirkungszusammenhang ohne Schwelle ausgehen, auch wenn der Entstehungsmechanismus bei den verschiedenen Kataraktformen bislang nicht endgültig geklärt werden konnte.
4. Auf eine Angabe von Dosiswirkungsfaktoren für verschiedene Strahlungsarten

und Dosisleistungen wird hier verzichtet, da den verschiedenen Untersuchungen bislang kein vereinheitlichtes Klassifizierungssystem für den Schweregrad der Katarakte zugrunde lag. Es besteht Übereinstimmung darüber, dass die Empfindlichkeit zur Kataraktbildung bei Exposition im Kindes- und Jugendlicheralter höher ist als bei Erwachsenen.

5. Die Latenzzeiten können einige Jahrzehnte betragen und sind nicht aus der Höhe der Dosis ableitbar.

6. Man muß davon ausgehen, dass bei den ehemals im Uranbergbau Beschäftigten (Wismut) Katarakte als berufsbedingter Strahlenschaden aufgetreten sind bzw. noch auftreten. An solchen Arbeitsplätzen erfolgt die Strahlenexposition der Augenlinse durch Gammabestrahlung von außen, Ablagerung von Radionukliden im Auge und durch die Wasserlöslichkeit des in der Luft vorhandenen radioaktiven Radons, das deshalb in die Linse diffundiert.

7. Experimentelle Untersuchungen weisen darauf hin, dass Katarakte durch Hochfrequenz-Strahlungen von sehr niedrigen Leistungen ausgelöst werden können. Die Annahmen der Radarkommission entsprechen auch für diese Expositionen nicht mehr dem Erkenntnisstand.

Adams, E.E., Brues, A.M., Anast, G.A.: Survey of ocular cataracts in radium dial workers. *Health Phys.* 44, Suppl. No. 1, 1983, 73-79

Appleton, B., McCrossan, G.: Microwave lens effects in humans. *Arch. Ophthalmol.* 88, 1972

Appleton, B., Hirsch, S., Kinion, R.O., Soles, M., McCrossan, G., Neidlinger, R.M.: Microwave lens effects in humans, II Results of five-year survey. *Arch. Ophthalmol.* 93, 1975, 257-258

Arinichin, A.N., Ospennikova, L.A.: Lens opacities in children of Belarus affected by the Chernobyl accident. In Imanaka, T. (Ed.): *Research Activities about the Radiological Consequences of the Chernobyl NPS Accident and*

*Social Activities to Assist the Sufferers by the Accident.* Research Reactor Institute, Kyoto University, KURRI-KR-21, 1998, S. 168-173

Behnisch, K.: Ein Beitrag zu der Veröffentlichung von Voigt über gutachterliche Probleme bei Angehörigen des Funkmeßpersonals der Nationalen Volksarmee. *Zeitschr. f. Militäarmed.* 1/1968, 18-19

BEIR IV: Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations. *Health Risks of Radon and other Internally Deposited Alpha-emitters.* National Academy Press, Washington, D.C. 1988

BMJ: Bundesminister der Justiz (Hrsg.), *Bekanntmachung der Dosisfaktoren Äußere Exposition - Erwachsene u. Kleinkinder (1 Jahr), Ingestion u. Inhalation - Kleinkinder (1 Jahr), Ingestion und Inhalation - Erwachsene.* Vom 5. Sept. 1989. *Bundesanzeiger Jahrgang 41, 30.9.1989, 6 1990 A, Nr. 185a*

Bundesamt f. Strahlenschutz (Hrsg.): *Bericht der Expertenkommission zur Frage der Gefährdung durch Strahlung in früheren Radareinrichtungen der Bundeswehr und der NVA (Radarkommission), Berlin, 02. Juli 2003, www.bfs.de/bfs/fue\_beitrag/radar/abschlussbericht.html*

Buzunov, V., Fedirko, P.: Ophthalmopathology in victims of the Chernobyl catastrophe - Results of a clinical epidemiological study. In Junk et al. 1999, S. 57-67

Cleary, S.F., Pasternack, B.S.: Lenticular changes in microwave workers. *Arch. Environ. Health* 12, 1966, 23-29

Cucinotta, F.A., Manuel, F.K., Jones, J., Iszard, G., Murrey, J., Djojonegro, B., Wear, M.: Space radiation and cataracts in astronauts. *Radiat. Res.* 156, 2001, 460-466

Day, R., Gorin, M.B., Eller, A.W.: Prevalence of lens changes in Ukrainian children residing around Chernobyl. *Health Physics* 68, 1995, 632-642

Dovrat, A., Berenson, R., Bormusov, E., Lahav, A., Lustman, T., Sharon, N., Schächter, L.: Localized effects of microwave radiation on the intact eye lens in culture conditions. *Bioelectromagnetics* 26, 2005, 398-405

Durovic, B., Durovic, B., Spasic-Jokic, V.: Occupational exposure to ionizing radiation and the occurrence of cataract. *Vojnosanit Pregl.* 61, 2004, 387-390 (in Serbisch)

Eglite, A.A., Ozola, G.J., Curbakova, E.V.: The incidence of eye disorders among Chernobyl clean-up workers. In Junk et al. 1999, S. 43-49

Fedirko, P.A., Buzunov, V.A.: Risk assessment of eye diseases development in Chernobyl clean-up workers in remote period after the catastrophe. *Int. J. Radiation Medicine, Kiev, Vol. 5, 2003, 211-218*

Filipy, R.E., Toohey, R.E., Kathren, R.L., Dietert, S.E.: Deterministic effects of  $^{241}\text{Am}$  exposure in the Hanford Americium accident case. *Health Phys.* 69, 1995, 338-345

Frey, A.H.: Data analysis reveals significant microwave-induced eye damage in humans. *J. Microwave Power* 1985, 53-55

Griffith, T.P., Pirie, A., Vaughan, J.: Possible cataractogenic effect of radionuclides deposited within the eye from the blood stream. *British Journal of Ophthalmology* 69, 1985, 219-227

Hall, P., Granath, F., Lundell, M., Olsson, K., Holm, L.-E.: Lenticular opacities in individuals exposed to ionizing radiation in infancy. *Radiat. Res.* 152, 1999, 190-195

Hollows, F.C., Douglas, J.B.: Microwave cataract in radiolinenen and controls. *Lancet* II, 1984, 406-407

Hunt, V.R.: Concentrations of  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{228}\text{Th}$  in the choroid of the eye, particular in cattle. In Aberg, S., Hungate, F.P. (Eds.), *Radioecological concentration processes.* Pergamon Press Oxford 1967, p. 303-311

HVBG: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Bergbau-Berufsgenossenschaft (Hrsg.), *Belastung durch ionisierende Strahlung im Uranerzbergbau der ehemaligen DDR.* Druck Center Meckenheim, Dez. 1998

Inalöz, S.S., Aksünger, A., Sari, I., Dasgag, S., Deveci, E.: Do microwave ovens affect eyes? *Jpn. J. Ophthalmol.* 41, 1997, 240-243

International Commission on Radiological Protection: *Report of the Task Group on Reference Man.* ICRP-Publication 23, Pergamon Press, Oxford 1975

International Commission on Radiological Protection: *1990 Recommendations of the Int. Commission on Radiological Protection.* ICRP-Publication 60, Pergamon Press, Oxford 1991

Jacobson, B.S.: Cataracts in retired actinide-exposed radiation workers. *Radiat. Prot. Dos.* 113,

2005, 123-125

Junk, A.K., Kundiev, Y., Vitte, P., Worgul, B.V. (Eds.): Ocular Radiation Risk Assessment in Populations exposed to Environmental Radiation Contamination. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London 1999

Klein, B.E.K., Klein, R., Linton, K.L.P., Franke, T.: Diagnostic X-ray exposure and lens opacities: the Beaver Dam eye study. *Am. J. Public Health* 83, 1993, 588-590

Klein, B.E.K., Klein, R., Moss, S.E.: Exposure to diagnostic x-rays and incident age-related eye disease. *Ophthalmic Epidemiol.* 7, 2000, 61-65

Lipman, R.M., Tripathi, B.J., Tripathi, R.: Cataracts induced by microwave and ionizing radiation. *Surv. Ophthalmol.* 33, 1988, 200-210

Lodi, V., Fregonara, C., Prati, F., d'Elia, V., Montesi, M., Badiello, R., Raffi, G.B.: Ocular hypertonia and crystalline lens opacities in healthcare workers exposed to ionising radiation. *Arh. hig. rada. toksikol.* 50, 1999, 183-187

Majewska, K.: Investigations on the effect of microwaves on the eye. *Polish Medical Journal VII*, 1968, 989-994

Merriam, G.R., Focht, E.F.: A clinical study of radiation cataracts and the relationship to dose. *Am. J. Roentgenol.* 77, 1957, 759-786

Merriam, G.R., Szechter, A., Focht, E.F.: The effects of ionizing radiations on the eye. *Front. Radiation Ther. Oncol.* 6, 1972, 346-385

Mikhalevich, L.S., Lloyd, D.C., Edwards, A.A., Perepetskaya,

G.A., Kartel, N.A.: Dose estimates made by dicentric analysis for some Belorussian children irradiated by the Chernobyl accident. *Radiat. Prot. Dos.* 87, 2000, 109-114

Minamoto, A. u.a.: Cataract in atomic bomb survivors. *Int. J. Radiat. Biol.* 80, 2004, 339-345

Niriishi, Kazuo, Radiation Effects Research Foundation, Hiroshima, persönliche Mitteilung 2005

Nussbaum, E., Hursh, J.B.: Radon solubility in rat tissues. *Science* 125, 1958, 552

Otake, M., Schull, W.J.: Radiation-related posterior lenticular opacities in Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivors based on the DS86 dosimetry system. *Radiation Research* 121, 1990, 3-13

Otake, M., Neriishi, K., Schull, W.J.: Cataract on atomic bomb survivors based on a threshold model and the occurrence of severe epilation. *Radiation Research* 146, 1996, 339-348

Prost, M., Olchowik, G., Hautz, W., Gaweda, R.: Experimental studies on the influence of millimetre radiation on light transmission through the lens. *Klinika Oczna* 96, 1994, 257-259 (in Poln.)

Rafnsson, V., Olafsdottir, E., Hrafnkelsson, J., Sasaki, H., Arnarsson, A., Jonasson, F.: Cosmic radiation increases the risk of nuclear cataract in airline pilots. *Arch. Ophthalmol.* 123, 2005, 1102-1105

Russell, J.J., Kathren, R.L.: Uranium deposition and retention in a USTUR whole body case. *Health Phys.* 86, 2004, 273-284

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

Siminov, A.A., Fedorov, B.F.: Prevalence of cataract in the Altai region. *Vestnic Nauchnoi Programmi Semipalatinsky Poligon* 4, 1994, 29-32 (in Russ.)

Shevchenko, V.A., Snigiryova, G.P.: Biological dosimetry in contaminated areas, Semipalatinsk nuclear test site, Techa River, Three Mile Island. In Schmitz-Feuerhake, I., Schmidt, M. (Ed), *Radiation exposures by nuclear facilities*. Ges. f. Strahlenschutz, Berlin 1998, S. 216-226

Shubik, V.M., Kvasova, M.D.: Immunological studies on cataracts under conditions of exposure to low-dose radiation. *Vestn. Oftalmol.* 112, 1996, 21-23 (in Russ.)

Spieß, H., Gerspach, A., Mays, C.W.: Soft tissue effects following <sup>224</sup>Ra injections into humans. *Health Phys.* 35, 1978, 61

Stephan, G., and Oestreicher, U.: An increased frequency of structural chromosome aberrations in persons present in the vicinity of Chernobyl during and after the reactor accident. Is this effect caused by radiation exposure? *Mutat. Res.* 223, 1989, 7-12.

UNSCEAR: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Sources, Ef-

fects and Risks of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly, United Nations, New York 1982

Voigt, C.: Über die Beurteilung und Begutachtung von Funkmeßpersonal aus arbeitsmedizinischer und truppenärztlicher Sicht. *Zeitschr. f. Militärmed.* 5/1966, 286-287

Voigt, C.: Gutachterliche Probleme bei Angehörigen des Funkmeßpersonals der Nationalen Volksarmee. *Zeitschr. f. Militärmed.* 1/1968, 17-18

Wike, E.L., Martin, E.J.: Comments on Frey's "Data analysis reveals significant microwave-induced eye damage in humans". *J. Microwave Power* 1985, 181-184

Wilde, G., Sjöstrand, J.: A clinical study of radiation cataract formation in adult life following  $\gamma$  irradiation of the lens in early childhood. *Brit. J. Ophthalmol.* 81, 1997, 261-266

Worgul, B.V., Kundiev, Y., Likharev, I., Sergienko, N., Wegener, A., Medvedovsky, C.P.: Use of subjective and nonsubjective methodologies to evaluate lens radiation damage in exposed populations - an overview. *Radiat. Environ. Biophys.* 35, 1996, 137-144

World Health Organization: *Electromagnetic Fields (300 Hz to 300 GHz)*. Environmental Health Criteria 137, Geneva, 1993

Ye, J., Yao, K., Zeng, Q., Lu, D.: Changes in gap junctional intercellular communication in rabbits lens epithelial cells induced by low power density microwave radiation. *Chin. Med. J. (Engl.)* 115, 2002, 1873-1876

## Atomwirtschaft

# Ukraine auf Atomkurs

**Ukrainischer Präsident Victor Juschtschenko gibt Wiederbesiedlung der Tschernobyl Region bekannt**

**Rußland will der Ukraine den Gashahn zudrehen**

**US-Brennelemente von Westinghouse für Südukrainisches Atomkraftwerk**

Der aus der Stichwahl vom 26. Dezember 2004 hervorgegangene Präsident der Ukraine Victor Juschtschenko setzt alles auf die nukleare Karte und kann dabei auf internationale Unterstützung zählen. Wie die russische Tageszeitung *Iswestija* in ihrer Ausgabe vom 14. Dezember 2005 auf der Seite

1 meldete, gab Juschtschenko anlässlich seines Besuches in Pripjat und Slavutische bekannt, daß er den Chef der zuständigen Kiewer Behörde angewiesen habe, den Aufenthalt der illegal in der „Todeszone“ lebenden Menschen im Jahre 2006 zu legalisieren.

Gegenwärtig seien 65 ehema-

lige Dörfer zerstört und wegen der radioaktiven Verseuchung teils mit Erde bedeckt worden. Von 1.200 im 30-Kilometer-Radius um Tschernobyl siedelnden Menschen seien ein Viertel noch am Leben, berichtet *Iswestija*. Die durchgerosteten Zäune um das verstrahlte Sperrgebiet stellten auch für Wilderer, die dort Wölfe und Eber jagten, kein Hindernis dar. Es habe in den vergangenen Jahren schon mehrere Versuche gegeben, Tschernobyl „rückzubesiedeln“. Man habe *Przevalsky* Pferde, kleine, in Sibirien beheimatete Urpferde dort ansiedeln wollen. Doch sie hätten die Ernte vernichtet und

die Leute gebissen, heißt es. Auch die Aufzucht von Fischen, Auerochsen und Nerzen habe nicht funktioniert, Weizen- und Kartoffelanbau sei gescheitert. Den Nerzen seien die Haare ausgefallen und die Feldfrüchte bildeten Mutationen und seien nicht bekömmlich gewesen. Russische Wissenschaftler hätten immer wieder vergeblich um Forschungsgelder gebeten, um die mit der radioaktiven Verseuchung einhergehenden Veränderungen in Natur und Umwelt zu untersuchen.

„Tschernobyl selbst wurde über 19 Jahre recht gut gesäubert, auch die Stadt Pripjat wurde wieder zum Leben her-