Hinweis zur 2. durchgesehenen Auflage

In der ersten Fassung war der Text als Vortrag mit dem Titel „Individual- und Kollektivdosen durch Röntgenreihenuntersuchungen in Hessen“ auf dem 2. Internationalen Kongreß 28.04.-01.05.1995, Berlin, präsentiert worden (In: Schmitz-Feuerhake, I., Lengfelder, E. (Hrsg.): 100 Jahre Röntgen: Medizinische Strahlenbelastung - Bewertung des Risikos, Thomas Dersee, Strahlentelex, Berlin, 1997, S. 82-87). In der Folgezeit hat sich durch die Publikation von Straume [1995], die bei der Abfassung des Vortrags noch nicht vorlag, die Beurteilung der biologischen Wirksamkeit der Röntgenstrahlung im Vergleich zur Strahlung der Atombomben verändert. War die neue Bewertung bei vielen Meinungsführern im Strahlenschutz Deutschlands (wohl wegen der erheblichen Konsequenzen z.B. für die Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung) auf Ablehnung gestoßen, hat sich doch die Meinung zum mindesten für die Beurteilung der biologischen Strahlenwirkung diagnostischer Maßnahmen gewandelt [Harder et al. 2001].

Auf Seite 83 re. Spalte muss es im dritten Absatz heißen: Die relative biologische Wirksamkeit (RBW) der 200 kV (250 kVp) Röntgenspannung - als Referenzstrahlung bei strahlenbiologischen Versuchen festgelegt - ist im Bereich niedriger Strahlendosen **viermal** so hoch wie die RBW von Co-60 Gammastrahlung.

Die auf Hiroshima und Nagasaki basierenden Schadenserwartungsfaktoren müssen also **vervierfacht** werden, wenn sie auf Röntgenstrahlung angewendet werden. In Tab. 3 muss deshalb ein Strahlungswichtungsfaktor von **0,25** angewendet werden. Entsprechend verändert sich im Kasten auf S. 84, re. Spalte oben das Nutzen/Schadenverhältnis pro 10.000 Aufnahmen auf 0,14. Bei diesen Röntgenreihenuntersuchungen überwog also der Schaden den Nutzen um das **7.1-fache** (=1/0,14).

Die Anzahl der Zusätzlichen Krebstoten durch RRU in Hessen in den Tabellen 3 und 4 ist also jeweils zu verdoppeln.

Literatur

Harder, D., Regulla, D., Schmid, E., Frankenberg, D. 2001
RBW locker ionisierender Strahlungen: Hat ihre LET-Abhängigkeit Bedeutung für den Strahlenschutz?
Strahlenschutzpraxis Heft 2, S. 23-31

Straume, T. 1995
High-Energy Gamma Rays in Hiroshima and Nagasaki: Implications for Risk and wR
Health Phys. 69, 954-956

Individual- und Kollektivdosen durch Röntgenreihenuntersuchungen in Hessen

A. Breidenstein, H. Kuni, H. Pfeiff, Gießen/Marburg

1. Fragestellung

Röntgenreihenuntersuchungen (RRU) gehören in den Bereich der Vorsorgeuntersuchungen, was dazu führt, daß alle Personen einer Bevölkerungsgruppe (hier: älter als 15 Jahre) aufgerufen werden, sich auf bestimmte Krankheitsmerkmale untersuchen zu lassen. Der hohe (finanzielle) Aufwand, viele, in der Regel symptomfreie Personen zu untersuchen, muß durch eine verringerte Ansteckungsgefahr und/oder eine durch die Früherkennung verbesserte Heilungschance für Befundträger gerechtfertigt sein. Vom „Deutschen Zentralkomitee zur Bekämpfung der Tuberkulose" wurde es für vertretbar gehalten, „die ungezielte RRU bis zu einem Aufkommen von 4 behandlungsbedürftigen Fällen auf 10 000 Schirmbilder weiterzuführen" [3]. Aus dem Kontext geht hervor, daß es sich dabei ausschließlich um eine finanzielle Kosten/Nutzen-Analyse handelt (ohne Berücksichtigung der Kosten durch verursachte Karzinomfälle).

Aber erst durch die Mitberücksichtigung von möglicherweise induzierten Krebsfällen kann die Frage beantwortet werden, ob der Nutzen - das Auffinden bis dahin unbekannter, aktiver Tuberkulosefälle - den Schaden auch in gesundheitlicher Sicht bei weitem übertrifft. In dieser Studie werden die durch Röntgenstrahlen verursachten stochastischen Spätschäden (Krebs, Leukämie) berechnet und eine Nutzen/Schaden-Abwägung aufgestellt.

Da die Röntgenschirmbildstelle Hessen 1984 aufgelöst wurde, handelt es sich hierbei um eine nachträgliche Bewertung. Die Methode und die Vorgehensweise ist jedoch gut übertragbar auf andere Verfahren der Röntgendiagnostik.

2. Methode

Abschätzung des Nutzens von RRU

Die wichtigste Informationsquelle war die Landesärztekammer Hessen, für deren sehr zuvorkommende Unterstützung ich mich ausdrücklich bedanke. Als ehemalige Betreiberin - gemeinsam mit dem Hessischen Sozialminister - bekam sie alle Jahresabschluß- und Prüfberichte geschickt. In Monatsberichten ist die Auflistung der Standorte mit der jeweiligen Aufnahmeanzahl enthalten. Diese Studie bezieht sich auf die Angaben für die Jahrgänge 1972-1984.

Der Hauptzweck der RRU von großen Gruppen liegt im Auffinden bis dahin noch unbekannter und daher unbehandelter Fälle von Lungentuberkulose. In Statistiken werden die unbekannten, aktiven Tuberkulosefälle pro 10 000 Aufnahmen aufgeführt, die durch Nachuntersuchungen bestätigt wurden (s. Abb. 1).

Für die Jahre 1972-1984 lag der Durchschnitt bei 4,2 pro 10 000, wobei über die Jahre eine ständig fallende Tendenz zu beobachten ist (die 80er Jahre gemittelt, ergibt 3,1 pro 10 000). Die Intervalle zwischen zwei Untersuchungen lagen in Hessen bei 3-5 Jahren für die Bevölkerung, 2-3 Jahre für Arbeitnehmer und Beamte und einem Jahr für Lehrer, Krankenhauspersonal, Altersheime, Lebensmittelindustrie, Obdachlosenheime und Justizvollzugsanstalten.

Abschätzung des Schadens

Das Vorgehen läßt sich am besten in vier Rechenschritte einteilen und wird im Folgenden - etwas vereinfacht - dargestellt:

+ Berechnung der Energiedosis in Luft pro Aufnahme
+ Abschätzung der Organdosen pro Aufnahme
+ Multiplikation mit den Wahrscheinlichkeitskoeffizienten für tödliche Krebsfälle aus BEIR-V [1]
+ Multiplikation mit den jährlichen Aufnahmeanzahlen

Die jährlichen Aufnahmezahlen lagen bei ca. 500 000, denn nur bei optimaler Auslastung konnte ein günstiges Kosten-pro-Aufnahme-Verhältnis vorgezeigt werden. In den Akten waren außerdem Statistiken zur Häufigkeitsverteilung der Aufnahmen, aufgeschlüsselt nach Alter und Geschlecht, für die Jahrgänge 1973, 1975 und 1983 enthalten.

Ausgangsbasis der Berechnungen sind die Apparate- und Einstellungsangaben aus der Dissertation von ZUTZ [8]. Er hatte 1958/59 Messungen an ca. 200 Patienten in genau den Bussen der hessischen Röntgenschirmbildstelle, die in dieser Arbeit von Interesse sind, vorgenommen. Insbesondere die physikalischen Parameter - Abstand, Spannung, Belichtungszeit, mAs-Produkt, Filterung und Feldgröße - sind wichtige Informationen (s. Tab. 1).
Nach der Methode von DREXLER, PANZER, STIEVE et al. [4] läßt sich mit den Werten für Spannung und Filterung (die Angaben von ZUTZ wurden als Gesamtfilterung verstanden) aus einem Diagramm die Energiedosis in Luft/mAs in 100 cm Abstand ermitteln. Schließlich ergibt sich, unter Berücksichtigung, daß es sich um 2-Puls Generatoren gehandelt hat, nach Umrechnung in den realen Fokus-Haut-Abstand und Multiplizierung mit dem mAs-Produkt die Energiedosis in Luft im Fokus-Haut-Abstand.
Die einzelnen Organdosen werden nun durch Multiplikation mit den von DREXLER, PANZER, STIEVE et al. [4] angegebenen Konversionsfaktoren ermittelt (s. Tab. 2).
Im dritten Schritt wurden die Organdosen mit den vom BEIR-Komitee [1] angegebenen, nach Altersgruppen und Geschlecht differenzierten Wahrscheinlichkeitskoeffizienten für tödliche Krebsfälle multipliziert.
Für die Organdosen von rotem Knochenmark, Lunge und Brustdrüse konnte jeweils direkt mit den Wahrscheinlichkeitskoeffizienten dieser Organe multipliziert werden, weil diese von BEIR-V [1] einzeln aufgeführt worden sind. Bei den Organen des Verdauungstraktes und den „Übrigen" Organe ist die Vorgehensweise komplizierter: Hier mußte zunächst die gewichtete Organgruppendosis errechnet werden. Dann konnte mit den jeweiligen Wahrscheinlichkeitskoeffizienten multipliziert werden.
Im vierten Schritt wurde mit den jährlichen Aufnahmeanzahlen multipliziert und so die Zahl der zusätzlichen Leukämie-, Lungenkarzinom-, Mammakarzinom-, ...-sterbefälle ermittelt (s. Tab. 3). Mit „zusätzlich" ist im folgenden „zusätzlich zur Spontankrebsmortalität" gemeint.
Der BEIR-Report bezieht sich auf die erhöhte Krebsmortalität unter den Bombenopfern von Hiroshima und Nagasaki. Die Strahlung der Atombomben war energiereiche Gammastrahlung. Die Übertragbarkeit dieser Statistiken auf Situationen der Belastung durch Röntgenstrahlen ist nicht ohne weiteres gegeben.Die relative biologische Wirksamkeit (RBW) der 200 kV (250 kVp) Röntgenspannung - als Referenzstrahlung bei strahlenbiologischen Versuchen festgelegt - ist im Bereich niedriger Strahlendosen doppelt so hoch wie die RBW von Co-60-Gammastrahlung (ICRU 40 [6]).
Die auf Hiroshima und Nagasaki basierenden Schadenserwartungsfaktoren müssen also verdoppelt werden, wenn sie auf Röntgenstrahlen angewendet werden. In Tab. 3 wurde deshalb, abweichend von der z. Z. gültigen Strahlenschutzverordnung und

ICRP 60, für Gammastrahlung ein Strahlungswichtungsfaktor von 0,5 angenommen.
Diese errechneten Fallzahlen wurden aus zwei Gründen nicht mit der Gesamtzahl der in Hessen jährlich auftretenden Spontankrebsfälle in Beziehung gesetzt:

1. Um nicht Ungleiches miteinander zu vergleichen, denn bei Spontankrebsfällen handelt es sich um unvermeidliche Krebsfälle (zumindest in ihrer Gesamtheit, solange sie nicht detaillierter betrachtet werden), während die hier errechneten Fälle bei Verzicht auf die RRU vermieden worden wären.
2. Es geht in dieser Arbeit nicht darum, das Risiko einzuschätzen, durch RRU einen tödlichen Krebs zu bekommen, sondern darum, eine konkrete Schadenserwartung zu ermitteln und dann über eine Nutzen/Schaden-Abwägung zu einer Bewertung der Röntgenreihenuntersuchungen zu kommen. Auch bei anderen Vorsorgeuntersuchungen wird die Zahl der Schadensfälle bei Gesunden mit der Zahl der verhinderten Schadensfällen bei Kranken verglichen, unabhängig von der jeweiligen Schadenshäufigkeit ohne die zu beurteilende Maßnahme.

3. Bilanz

Die neu entdeckten Tuberkulose-Fälle können in einer Nutzen/Schaden-Abwägung den berechneten, zusätzlichen Krebstoten nicht direkt gegenübergestellt werden. Die Tuberkulose ist durch Antibiotika zu 95-100% heilbar. Da aber auf der Schadensseite allein die Mortalitätszahlen aus den Krebsstatistiken berücksichtigt wurden, können nur die möglicherweise tödlich verlaufenden Tuberkulose-Fälle in die Bilanz eingehen. Dazu wurden die Nutzenfälle (nach KAPLAN [7]) mit 0,1 multipliziert.

Nutzen/Schaden-Verhältnis pro 10.000 Aufnahmen	$(4{,}2 \cdot 0{,}1)/1{,}5 = 0{,}28$

Bei diesen Röntgenreihenuntersuchungen überwog der Schaden den Nutzen um das 3,6-fache (= 1/0,28).

4. Bewertung

Es galt, die Frage zu beantworten, ob Röntgenreihenuntersuchungen mit den hier diskutierten Schirmbildwagen die geeignete Methode zur Tuberkuloseprophylaxe darstellten.
In dieser Arbeit wurde eine Nutzen/Schaden-Abschätzung aufgestellt unter besonderer Berücksichtigung der Organdosis pro Schirmbildaufnahme und der dadurch verursachten Spätschäden (Krebs, Leukämie).
Es konnte gezeigt werden, daß die Gefahr der Induktion einer malignen Erkrankung durch RRU durchaus nicht vernachlässigbar klein ist. Durch RRU wurden etwa 1,5 zusätzliche Krebstote pro 10 000 Aufnahmen verursacht, davon über die Hälfte Lungentumorfälle. In absoluten Zahlen: Durch sechs Millionen Schirmbildaufnahmen in Hessen in den Jahren 1972 bis 1984 wurden 900 zusätzliche, tödliche Krebsfälle induziert.
Gleichzeitig ist der Nutzen der RRU in Frage gestellt, da die Verbreitung der Tuberkulose in Mitteleuropa in den letzten 40 Jahren stark zurückgegangen ist, eine epidemische Ausbreitung durch verbesserte Lebensbedingungen praktisch ausgeschlossen ist, und die Krankheit durch die zur Verfügung stehenden Antibiotika ihren tödlichen Schrecken weitgehend verloren hat.
Nachdem in der rechnerischen Bilanz nachgewiesen werden konnte, daß der Schaden den Nutzen um das 3,6-fache überstiegen hat, liegt die daraus zu schlußfolgernde Bewertung auf der Hand:

Solche Röntgenreihenuntersuchungen sind als Methode, um Tuberkuloseerkrankungen ausfindig zu machen, aufgrund der Belastung der großen Anzahl von gesunden Menschen mit Röntgenstrahlen nicht weiter vertretbar.

Literatur:

[1] BEIR-V (Biological Effects of Ionizing Radiations) (1990): Health effects of exposure to low levels of ionizing radiation, Washington DC: National Academy Press

[2] Breidenstein, A. (1994): Dosisbilanz der Röntgenreihenuntersuchungen in Hessen in den Jahren 1972-1984, Diplomarbeit an der Fachhochschule Gießen-Friedberg, Fachbereich Technisches Gesundheitswesen

[3] Deutsches Zentralkommitee zur Bekämpfung der Tuberkulose (1975): Empfehlungen zur Röntgenreihenuntersuchung, Hamburg

[4] Drexler, G., Panzer, W., Stieve, F.- E., Widenmann, L., Zankl, M. (1993): Bestimmung von Organdosen in der Röntgendiagnostik. 2. Aufl. Verlag Hoffmann

[5] ICRP 60, International Commission on Radiological Protection (1991): Volume 21, Nr.1-3, Pergamon Press

[6] ICRU 40 (1986): The Quality Factor in Radiation Protection, Report of a Joint Task Group of the ICRP and ICRU to the ICRP Report 40, Bethesda, Maryland 20814, USA

[7] Kaplan, R. W. (1961): Nutzen und Schaden der Röntgenreihenuntersuchung. Ärztl. Mitt. 46, H.43, 2448

[8] Zutz, H.- U. (1959): Die Gonadendosis der Röntgenreihenuntersuchungen. Inaugural-Dissertation an der Universität Mainz

Abbildung 1:
Zugänge an behandlungsbedürftiger Lungentuberkulose auf 10.000 Schirmbildaufnahmen

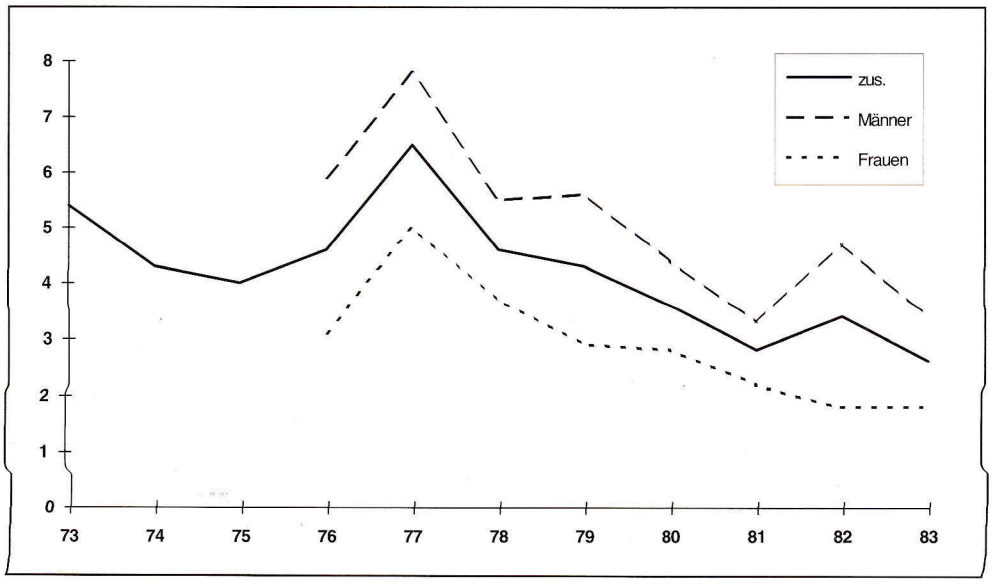

Tabelle 1:
Aufnahmetechnik in den Röntgenbussen III und V (nach Zutz [8])

Filter : FSA[1] : Feld : Optik : Filmformat :	4 mm Al 90 cm 42,7 x 42,7 cm Spiegel RG 35 31 x 31 mm	4 mm Al 90 cm 42,7 x 42,7 cm Spiegel SG 70 70 x 70 mm
Anzahl der untersuchten Männer	38	38
Thoraxdurchmesser [cm]	24,7	24,5
Spannung [kV]	79	79
[mAs]	43,3	63
Expositionszeit [s]	0,28	0,25
Oberflächendosis [mR]	489	473
Gonadendosis [mR]	0,107	0,133

[1] FSA: Fokus-Schirm-Abstand

Tabelle 2:
Organdosen pro Schirmbildaufnahme
Haut: Oberflächeneintrittsdosis incl. Rückstreuung

	Rö-bus III		Rö-bus V		Mittelwerte[1]	
Energiedosis in Luft	3,68 mGy		5,35 mGy		4,93 mGy	
	[mSv]		[mSv]		[mSv]	
	Männer	Frauen	M.änner	Frauen	Männer	Frauen
Schilddrüse	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
Thymus	0,3	0,3	0,4	0,5	0,4	0,5
Brustdrüse	-	0,5	-	0,7	-	0,7
Ösophagus	0,7	0,7	1,0	1,1	0,9	1,0
Lunge	1,9	2,0	2,8	2,9	2,6	2,7
Leber	0,5	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7
Milz	0,8	0,6	1,1	0,8	1,0	0,8
Pankreas	0,5	0,3	0,7	0,5	0,7	0,5
Magenwand	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
Nebenniere	1,7	1,2	2,5	1,7	2,3	1,6
Nieren	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Rotes Knochenmark	0,4	0,4	0,5	0,6	0,5	0,6
Skelett	1,0	1,1	1,4	1,6	1,3	1,5
Haut	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5
Muskeln	0,3	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5
Haut	4,6	4,5	6,7	6,5	6,2	6,0

[1] Es existierten zwei weitere Rö-busse, bei denen vergleichbare Oberflächendosen gemessen wurden wie im Rö-bus V, deren Organdosen pro Aufnahme aber nicht berechnet werden können, da die Belichtungszeiten und damit die mAs-Produkte nicht bekannt sind. Deswegen sind die Werte des Rö-bus V verdreifacht in die Mittelwertbildung eingegangen.

Tabelle 3:
Zusätzliche Krebstote durch RRU in Hessen 1973
RBW Gammastrahlung: 0,5

Männer

Altersgruppe	Anzahl der Aufnahmen	Leukämie	Lungen-karzinome	Karzinome d. Verdauungstr.	übrige Karzinome
15 - 19	54 260	0,6	1,6	1,2	2,8
20 - 29	57 510	0,2	3,8	1,4	1,8
30 - 39	68 830	0,4	8,6	0,2	1,4
40 - 49	52 580	0,6	9,6	-	0,6
50 - 59	32 940	0,6	6,8	-	0,2
60 - 69	23 780	0,4	3,4	-	-
70 u.älter	9 405	0,2	0,4	-	-
Summe	299 305	3,0	34,2	2,8	6,8

Frauen

Alters-gruppe	Anzahl der Aufnahmen	Leukämie	Lungen-karzinome	Mamma-karzinome	Karzinome des Verdau-ungstrakts	übrige Karzinome
15 - 19	46 150	0,4	1,8	2,0	1,8	1,4
20 - 29	46 520	0,2	3,2	0,4	2,0	0,8
30 - 39	48 345	0,2	5,4	0,2	0,2	0,6
40 - 49	39 110	0,4	5,8	0,2	0,2	0,2
50 - 59	33 115	0,4	4,8	-	0,2	-
60 - 69	26 575	0,4	2,4	-	-	-
70 u.älter	12 305	0,2	0,4	-	-	-
Summe	252 120	2,2	23,8	2,8	4,4	3,0

Tabelle 4:
Zusätzliche Krebstote durch RRU in Hessen
RBW Gammastrahlung: 0,5

		Anzahl der Aufnahmen	berechnete zusätzliche Krebstote	berechnete zusätzliche Krebstote pro 10 000 Aufnahmen
1973	Männer	300 000	47	1,6
	Frauen	250 000	36	1,4
1975	Männer	310 000	47	1,5
	Frauen	280 000	40	1,4
1983	Männer	140 000	23	1,6
	Frauen	130 000	18	1,4