

### III. Hauptthema: Forensische Radiologie

**HUG (München):** Strahlenbiologischer Beitrag zu dem Problem der Strahlenschädigung und des Strahlenrisikos.

**K. JAROSCH (Linz):** Die bisherige Strahlenbelastung der Bevölkerung in Oberösterreich in Beziehung zur Krankenstatistik. (Mit 1 Textabbildung.)

Der Beginn des sog. Atomzeitalters und die zunehmende Verwendung von Strahlen in Medizin und Technik werfen wichtige medizinisch-biologische Probleme auf, sind doch Schäden in folgender Hinsicht möglich:

1. Somatische Schäden,
2. Fruchtschäden,
3. Keimschäden (Schäden der nicht zum Genom gehörenden Teile der unbefruchteten Eizelle),
4. genetische Schäden.

Neben der wissenschaftlichen und praktisch-medizinischen Bedeutung dieses Problems werden auch schwierige Fragen in der Begutachtung bei Schadenersatzfällen und allenfalls auch im Strafverfahren zu erwarten sein. Zur exakten Beantwortung solcher Fragen ist es aber notwendig, ausreichende Grundlagen über die Strahlenexposition der Durchschnittsbevölkerung zu haben.

Unter Strahlenexposition der Gesamtbevölkerung versteht man die zeitlich und räumlich begrenzte Belastung der Durchschnittsmenschen durch ionisierende Strahlen aus natürlichen und künstlichen Quellen.

Tabelle 1. *Strahlenbelastung*

mrem/a natürliche	mrem/a künstliche
35 kosmische Strahlung	66 Röntgendiagnose
70 terrestrische Strahlung	0,1 Fernsehen, Schuhröntgen
19 K <sup>40</sup> im Körper	2,0 Uhrleuchtziffern
1 C <sup>11</sup> im Körper	(jetzt 0,2)
50 Ra <sup>226</sup> im Knochen	2,0 A-Bombenspaltprodukte
150 Radonfolgepr. Lunge	
325	70

Während sich beim Menschen gegenüber der natürlichen Strahlenbelastung ein Gleichgewichtszustand eingestellt hat, ist er gegen größere Veränderungen der künstlichen Strahlenbelastung empfänglich. Die

International Commission on Radiological Protection hat empfohlen, die künstliche Strahlenbelastung nicht höher werden zu lassen, als die natürliche ist, da die Verdoppelung der gegenwärtigen Strahlenbelastung auch zu einer Verdoppelung der Mutationsrate führen dürfte.

Unter der künstlichen Strahlenbelastung nehmen die Röntgendurchleuchtungen derzeit den größten Teil ein, so daß die wirksamste Einschränkung in der Verhinderung unnötiger Röntgendiagnostik besteht und auch die Anwendung von Isotopen auf das notwendige Maß

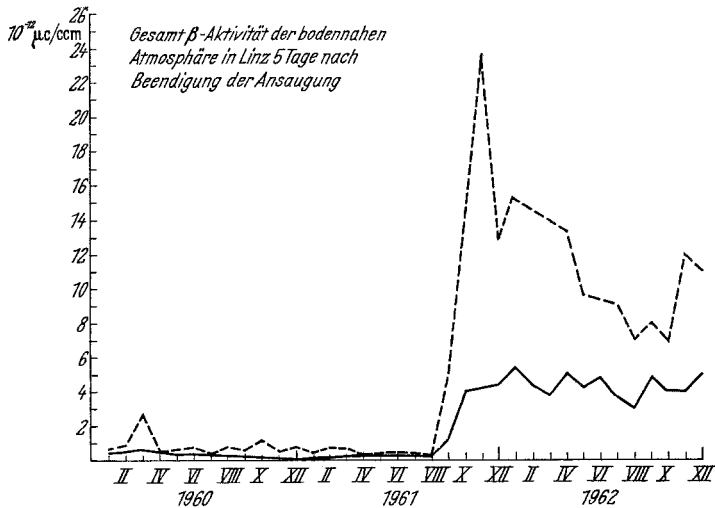


Abb. 1

eingeschränkt bleibt. Man bedenke, daß bei einer Röntgenaufnahme 1500—3500 mr anfallen.

Die Frage der Vermehrung der Radioaktivität in der bodennahen Atmosphäre (fall-out bzw. rain-out und wash-out der Atombombenversuche, eventuell künftige industrielle Entwicklungen) wurde in Linz durch das Radiologische Laboratorium der Bundesstaatlichen Bakteriologisch-Serologischen Untersuchungsanstalt (Dir. Dr. K. MEGAY) geprüft. In 5 m über dem Boden wird Luft, welche mit einem Gas-mengenmesser gemessen wird, über ein Glasfaserfilter (Nr. 8, Schleicher & Schüll) angesaugt und die Radioaktivität des Filterstaubes (Aerosol) sofort, nach 3 und 24 Std und nach 5 Tagen in einem Methangasdurchflußzähler (Friescke & Höpfner) mit dem elektronischen Zählgerät bestimmt. Schon in den ersten Stunden stellt sich bei den natürlichen Radionukleiden ein Zerfallsgleichgewicht ein, und nach 48 Std bis 3 Tagen ist die natürliche Radioaktivität praktisch verschwunden. Die Restaktivität nach diesem Zeitpunkt ist daher auf künstliche Spaltprodukte zurückzuführen.

Tabelle 2. *Gesamt- $\beta$ -Aktivität der bodennahen Atmosphäre in Linz/Donau*

Monat	1960			1961			1962		
	Mittel	Maximum	Minimum	Mittel	Maximum	Minimum	Mittel	Maximum	Minimum
Januar . . .	0,32	0,71	0,05	0,23	0,45	0,04	5,49	15,42	1,76
Februar . . .	0,36	1,05	0,16	0,22	0,54	0,03	4,19	6,98	2,09
März . . . .	0,58	2,87	0,14	0,23	0,52	0,02	3,98	12,29	0,99
April . . . .	0,35	0,66	0,12	0,07	0,21	0,00	5,18	13,26	1,40
Mai . . . . .	0,30	0,70	0,00	0,10	0,29	0,00	4,37	9,87	0,83
Juni . . . . .	0,34	0,85	0,09	0,10	0,18	0,00	4,95	11,12	1,84
Juli . . . . .	0,23	0,39	0,05	0,07	0,16	0,00	3,68	9,15	1,44
August . . .	0,29	0,86	0,02	0,05	0,12	0,00	3,24	7,65	1,48
September .	0,22	0,57	0,02	1,32	6,49	0,02	4,92	8,22	2,17
Oktober . .	0,26	1,17	0,07	4,01	14,20	1,83	4,18	7,21	1,17
November . .	0,21	0,50	0,06	4,27	23,46	0,41	4,6	12,2	0,5
Dezember . .	0,20	0,59	0,04	4,48	13,29	1,49	5,0	11,5	1,9

Tabelle 3. *Radioaktivität der Niederschläge in Linz (264 m)*

Quartal	Regenmenge mm	Sr <sup>88</sup>		Sr <sup>90</sup>		Cs <sup>137</sup>	
		pc/l	mc/km <sup>2</sup>	pc/l	mc/km <sup>2</sup>	pc/l	mc/km <sup>2</sup>
III 1958	303,0	96,40	29,000	6,30	1,900	11,09	3,360
IV 1958	159,1	177,50	28,240	6,40	1,020	8,21	1,310
I/II 1959	387,4	160,00	61,980	12,80	4,960	20,60	7,980
III 1959	268,6	8,41	2,260	5,43	1,460	9,54	2,540
IV 1959	122,9	0,20	0,246	1,93	0,237	3,29	0,404
I 1960	167,7	—	—	1,45	0,243	3,04	0,509
II 1960	242,4	—	—	4,01	0,972	6,01	1,457
III 1960	357,6	—	—	2,09	0,747	3,74	1,337
IV 1960	107,9	—	—	0,97	0,105	1,76	0,190
I 1961	131,9	—	—	1,86	0,245	3,59	0,473
II 1961	299,1	—	—	2,10	0,628	3,25	0,972
III 1961	203,5	1,63	0,33	1,90	0,386	2,65	0,539
IV 1961	154,2	170,0	26,21	2,50	0,385	3,00	0,463
I 1962	142,5	280,0	39,90	9,0	1,3	14,0	2,00
II 1962	240,5	230,0	55,3	20,0	4,8	33,0	7,9
III 1962	111,2	105,0	11,7	14,5	1,6	25,0	2,8

Neben der atmosphärischen Radioaktivität ist auch die Radioaktivität in den Niederschlägen von besonderer Bedeutung, da nur ein geringer Teil der Spaltprodukte als trockenes Fall-out zu Boden kommt, das meiste als Rain-out und Wash-out (70—80% der Gesamtaktivität) anfällt.

Neben der laufenden Registrierung der Radioaktivität in der Atmosphäre und in den Niederschlägen kommt auch den zumindest stichprobenweise durchgeführten Untersuchungen von Oberflächen- und Grundwässern, von Boden, Gras und Heu, von Milch und Lebensmitteln Bedeutung zu, da der Mensch durch Einatmung, durch das Trinken von Wasser und Essen von Lebensmitteln (Gemüse, Cerealien, Milch) radioaktive Substanzen aufnimmt. Von den künstlichen Spaltprodukten ist

das  $\text{Sr}^{90}$ , welches jahrelang in den Knochen festgehalten wird, und das  $\text{Cs}^{137}$ , welches zwar binnen 6 Monaten ausgeschieden wird, aber die Keimzellen und Blutbildungsstätten schädigen kann, für den menschlichen Organismus besonders bedeutsam. Es ist beabsichtigt, die  $\text{Sr}^{90}$ -Aktivität von Knochen in das Untersuchungsprogramm einzubeziehen. Einstweilen können wir nur auf die Literatur verweisen, wonach der  $\text{Sr}^{90}$ -Gehalt in Knochen nach dem 1. Lebensjahr das Maximum erreicht und in den weiteren Lebensjahren allmählich abfällt, was sich aber bei einer dauernden Strahlenbelastung ändern könnte. Die bisher festgestellten Werte lagen allerdings bei 2,5 S.E. (Strontium-Einheit = 1 pc  $\text{Sr}^{90}$ /g Ca), während die zulässige Grenze mit 70 S.E. angegeben wird.

Zur Beurteilung, in welchem Ausmaß die Strahlenexposition der Durchschnittsbevölkerung mit bestimmten Krankheiten zusammenhängt, ist es notwendig, die Radioaktivität laufend mit der Krankenzustatistik zu vergleichen. Es muß darauf hingewiesen werden, daß bisher bei uns keine somatische Schädigung durch die Spaltprodukte der Atombombenversuche zu erwarten war, und es waren auch in der Statistik der malignen Neubildungen keine besonderen Veränderungen zu erkennen.

Tabelle 4. *Maligne Neubildungen*  
(Allgemeine Todesursachenstatistik im Bundesland Oberösterreich)

Diagnose	1960	1961	1962
Mundhöhle, Rachen . . . . .	27	27	27
Speiseröhre . . . . .	31	41	43
Magen . . . . .	700	670	698
Darm . . . . .	115	133	130
Mastdarm . . . . .	99	89	91
Kehlkopf . . . . .	25	36	27
Atemwege . . . . .	348	355	362
Brustdrüse . . . . .	112	122	114
Gebärmutterhals . . . . .	15	22	35
Sonstige Gebärmutterteile . . . . .	147	144	134
Prostata . . . . .	72	83	81
Haut . . . . .	23	18	36
Knochen und Bindegewebe . . . . .	27	12	33
Sonstige Sitze . . . . .	591	577	639
Leukämie und Aleukämie . . . . .	62	52	69
Lymphosarkom und andere Neubildungen der lymphatischen und blutbildenden Organe .	50	58	61
	2444	2435	2580

Die unterschiedliche Belastung mit natürlichen Höhenstrahlen zeigt in verschiedenen Höhenlagen keine auffallenden Abweichungen:

Höhenunterschiede	Knochenkrebs	Leukämie
Denver (1525 m) . . . . .	2,4	6,4/100000 E.
New Orleans (knapp über Meereshöhe)	2,8	6,9
San Franzisko (401 m) . . . . .	2,9	10,3

Die stärkere Verbreitung des Hautcarcinoms im Pamirplateau kann sowohl von der Höhenstrahlung als auch von der UV-Bestrahlung abhängen. Die Ursachen der Zunahme der Leukämien im allgemeinen sind nicht ganz einfach zu deuten. Jedenfalls kommen Leukämien bei Röntgenologen häufiger vor als bei anderen Ärzten, und Leute, die Röntgenbestrahlungen hatten, erkrankten leichter an Leukämie als Nichtbestrahlte.

Neben der Beurteilung der allgemeinen Strahlenexposition muß auch die individuelle Exposition, besonders bei bestimmten Berufsgruppen, beachtet werden. Die frühere Filmdosimetrie wurde nunmehr durch die Phosphatglasdosimetrie mit photometrischer Auswertung der Glasverfärbung ersetzt und erlaubt die Gammastrahlenbelastung zu bestimmen. Daneben sind aber zur Erkennung von Frühschäden Blutbildkontrollen (Granulocyten: Abfall, vergrößerte Granulierung, Verklumpung der Kernstruktur, Jugendformen, lymphatische Reizformen, Thrombocytenabfall) notwendig.

Die allgemeine und individuelle Strahlenexposition ist die Grundlage für die Begutachtung, bei welcher folgende Hauptprobleme auftauchen können:

1. Die Röntgenverbrennung und andere lokale Schäden sind hinsichtlich der Kausalität meist unschwer festzustellen. Es ergeben sich nur Fragen der Indikation, der Dosierung und der individuellen Verträglichkeit. Schwieriger sind die Probleme der sog. Kombinationschäden mit anderen Erkrankungen, operativen Eingriffen, mechanischen, thermischen und toxischen Reizungen.

2. Die Strahlenkrankheit bzw. das chronische Strahlensyndrom (verursacht durch eine Läsion der intermediären H-Brücken durch Perhydroxylvergiftung mit Beeinträchtigung der SH-Verbindungen) ist nach akuter und chronischer Einwirkung ionisierender Strahlen möglich, und zwar durch Einwirkung von außen oder von innen nach Aufnahme radioaktiver Substanzen in den Organismus. Nach einer Frühreaktion mit vegetativen Störungen und einem symptomarmen Intervall kommt es nach Tagen bis 3 Wochen zu Blutbildveränderungen (Leuko-, Thrombopenien, Anämien), zu hämorrhagischer Diathese (der Haut und Schleimhäute), zu Magen-Darmsymptomen (Durchfall und paralytischer Ileus), zu Störungen des hormonalen und vegetativen Systems, zu erhöhter Infektionsbereitschaft. Für die Wahrscheinlichkeitsdiagnose eines Strahlenschadens durch Dauerbelastung mit kleinen Dosen werden folgende Kriterien verlangt:

- a) Strahlenexposition (Meßergebnisse): bei 1–10 r pro Tag sind sichere Schäden nachgewiesen, darunter aber auch möglich ( $LD_{50} = 400$  r,  $LD_{100} = 600$  r). Wird die Dosis von 25 r nicht überschritten, erfolgt eine Restitutio.

b) Biologische Grundlagen für den Kausalzusammenhang zwischen Strahlenbelastung und einer bestimmten Erkrankung.

c) Direkter Zusammenhang zwischen der bestimmten Erkrankung mit einer Strahlenbelastung, wobei Jahre bis Jahrzehnte zurückliegen können, bis die ersten Symptome auftreten.

3. Die Verursachung maligner Neubildungen durch ionisierende Strahlen ist ein besonders wichtiges Problem und wird noch von anderer Seite erörtert werden.

4. Die Probleme der Fruchtschädigung (Abortus, Frühgeburten, Mißbildungen) und Keimschädigungen (Mißbildungen der F<sub>1</sub>-Generation) sind oft sehr schwer zu beurteilen. Der Grad der Strahlenexposition läßt aber eine Wahrscheinlichkeitsdiagnose zu, wobei die Schäden um so größer sind, je unreifer das Gewebe ist.

5. Die Keimschädigung wurde an Tieren einwandfrei nachgewiesen, beim Menschen reichen die Beobachtungen aber wegen der langen Generationsfolge über die F<sub>1</sub>-Generation noch nicht hinaus. Mehr als eine Wahrscheinlichkeitsdiagnose läßt sich nicht stellen. Im Gegensatz zum Dosisschwellenwert bei den somatischen Schäden summieren sich alle, auch die kleinsten Einzelstrahlendosen während der Generationsdauer, bis eine statistische Wahrscheinlichkeit für eine Keimschädigung erreicht ist, wobei man allerdings nicht sagen kann, ob ein Chromosom nicht schon früher geschädigt

Tabelle 5. *Maligne Neubildungen in Krankenanstalten Oberösterreichs*

Diagnose	Entlassungen						Verstorbene					
	1960			1961			1962			1960		
	♂	♀		♂	♀		♂	♀		♂	♀	
Verdaunungsorgane, Bauchfell . . . .	681	501	1182	619	493	1112	524	407	931	197	172	369
Atmungsorgane . .	405	93	498	458	58	516	398	43	441	129	23	152
Brustdrüse, Geschlechtsorgane . .	188	1390	1578	144	1422	1566	138	1300	1438	26	129	155
Sonstige Stellen . .	432	322	754	652	447	1099	676	413	1089	74	57	131
Lymphatische und blutbildende Organe . . . . .	118	95	213	108	102	210	104	72	176	26	29	55
	1824	2401	4225	1981	2522	4503	1840	2235	4075	432	410	862
										459	429	888

wurde (modifizierte Treffertheorie). Als zulässige Höchstgonadenbelastung wurde für die Gesamtbevölkerung 10 rem, für besonders Beschäftigte zusätzlich 50 rem bis zum 30. Lebensjahr festgelegt, jedoch nicht mehr als 5 rem pro Jahr oder 0,3 rem pro Woche.

6. Man muß aber auch daran denken, daß man mit ionisierenden Strahlen Menschen dadurch schädigen oder töten kann, daß man entweder von außen eine radioaktive Substanz einwirken läßt (z.B. in der Nähe der Schlafstelle) oder innerlich radioaktive Isotope einverleibt, was z.B. bei Alphastrahlenträgern ohne besondere Eigengefährdung erfolgen kann. Wenn die Substanz hohe spezifische Aktivität und ein relativ rasches Ausscheidungsvermögen im Organismus bei langer physikalischer Halbwertszeit besitzt, ist die Anwendung als Tötungsmittel durchaus denkbar. Man wird daher künftig bei Obduktionen auch auf die Möglichkeit einer allfälligen Strahlenkrankheit achten müssen und im Verdachtsfalle — unter entsprechenden Sicherungsmaßnahmen — die Leiche mit dem Strahlenmonitor bzw. mit Röntgenfilmen untersuchen. Bei den nur in geringer Tiefe wirkenden Alphastrahlenpräparaten wird man allerdings neben der äußeren Untersuchung auch Teilorganuntersuchungen machen müssen.

Immerhin ergeben sich für die Gerichtsmedizin neue Aufgaben, zumal bei der zu erwartenden größeren Verbreitung von Isotopen man auf berufliche Strahlenschäden und allenfalls kriminelle Delikte gefaßt sein muß.

### *Literatur*

- ARDEN, J. W., F. J. BRYANT, E. H. HENDERSON, G. D. LLOYD, and A. G. MORTON: Radioactive and natural Strontium in human bone. A.E.R.E. Harwell 1960.
- BACQU, Z. M., u. P. ALEXANDER: Grundlagen der Strahlenbiologie. Stuttgart: Georg Thieme 1958.
- BAUER, K. H.: Krebsentstehung durch radioaktives Thorium. Krebsarzt 14, 546 (1959).
- BECK, H. R., H. DRESSEL u. H. J. MELCHING: Leitfaden des Strahlenschutzes. Stuttgart: Georg Thieme 1959.
- British Institute of Radiology: Recommendations of the Internat. Commission on Radiological Protection, Supl. 6. London 1955.
- BRYANT, F. J., A. C. CHAMBERLAIN, A. MORGAN, and G. S. SPICER: Radiostrontium in soil, grass, milk and bone in the United Kingdom. 1956 Results A.E.R.E. Harwell 1957.
- — — — Radiostrontium — Fallout in biological materials in Britain. A.E.R.E. Harwell 1957.
- Bundesministerium f. soz. Verw.: Bericht über das Gesundheitswesen im Jahre 1960/61. Wien: Ueberreuther 1961/62.
- DRESEL, H.: Die berufliche Strahlenbelastung. Braunschweig: Gersbach 1959.
- DUNHAM, CH. L.: Radioactive Fallout — a two-year summary report (U.S. Atomic Energy Commission) Mai 1959.
- EKERT, F.: Zu neueren oder weniger bekannten Prinzipien der praktischen Durchführung des Strahlenschutzes im röntgendiagnostischen Sektor. Med. Klin. 55, 59 (1960).

- HINZPETER, M., F. BECKER u. H. REIFFERSCHIED: Atemtechnisches Aerosol und atmosphärische Radioaktivität. Braunschweig: Gersbach 1959.
- HUBER, P.: 5. Bericht der Eidgenössischen Kommission zur Überwachung der Radioaktivität zuhnden des Bundesrates für das Jahr 1961. Bulletin d. Eidgenöss. Gesundheitsamtes, Beilage B 4. 8. 1962 (Bern).
- KAPLAN, R. W.: Eine Zahlenbilanz der Atombombenschäden in Hiroshima und Nagasaki. Dtsch. med. Wschr. **84**, 1028 (1959).
- MARQUARDT, H.: Über den Entstehungsmechanismus des Strahlenkrebses. Krebsarzt **14**, 528 (1959).
- MAYER, E. G.: Strahlenschäden-Strahlenschutz. Probleme d. ärztl. Gutachtens Bd. VII, S. 25. Wien: Hollinek 1958.
- Krebsentstehung durch ionisierende Strahlen. Krebsarzt **14**, 542 (1959).
- MEGAY, K.: Zur derzeitigen Strahlenexposition des Bevölkerungsquerschnittes. Mitt. öst. Sanit.-Verwalt. **61**, H. 3, 1 (1960).
- J. FRENZEL u. E. WEISS: Die künstliche Radioaktivität der bodennahen Atmosphäre und der Niederschläge im Raume von Linz 1959—1962. Naturkundl. Jb. der Stadt Linz 1962, S. 53.
- NACHTSHEIM, H.: Strahlen-genetik bei Säugetier und Mensch. Bundesgesundheitsblatt **14**, 217 (1959).
- PFEIFER, W.: Strahlengefährdung und Strahlenschutz im Krankenhaus. Med. Klin. **55**, 53 (1960).
- PRIBILLA, O.: Der gegenwärtige Stand der 90 Sr Kontamination des menschlichen Organismus. Dtsch. Z. ges. gericht. Med. **51**, H. 3, 516 (1961).
- RAJEWSKY, B.: Strahlendosis und Strahlenwirkung. Stuttgart: Georg Thieme 1956.
- Wissenschaftliche Grundlagen des Strahlenschutzes. Karlsruhe: Braun 1957.
- RAUSCH, L.: Gesundheitliche und arbeitsmethodische Probleme bei der großtechnischen Anwendung der Kernenergie-Lösungen in England. Med. Klin. **55**, 45 (1960).
- REIMER, E. E.: Schädigungen des hämopoetischen Systems durch ionisierende Strahlen. Probleme des ärztlichen Gutachtens, Bd. VII, S. 59. 1958.
- SEELENTAG, W., u. H. SCHREINER: Wie groß ist die Strahlengefährdung durch Leuchtzifferblätter von Armbanduhren? Münch. med. Wschr. **103**, 1876 (1961).
- Sonderausschuß „Radioaktivität“ der Bundesrepublik Deutschland. Stuttgart: Georg Thieme 1. Bericht 1958, 2. Bericht 1959.
- Symposium über Radiostrontium (Strahlenschutz H. 18). München: Gersbach 1961.
- TAPPEINER, J.: Strahlenschäden der Haut. Probleme des ärztlichen Gutachtens, Bd. VII, S. 52. Wien: HOLLINER 1958.
- TELLER, E., u. A. LATTE: Ausblick in das Kernzeitalter. Frankfurt u. Hamburg: Fischer 1959.
- TRAUTMANN, J.: Zur Frage der Keimschädigung durch ionisierende Strahlen. Berl. Med. **11**, 183 (1960).
- WEISBACH, H.: Das Wahrscheinlichkeitsprinzip bei der Kausalität von Strahlenschäden. Probleme des ärztlichen Gutachtens, Bd. VII, S. 69. 1959.

Landessanitätsinspektor Dr. KLAUS JAROSCH,  
Linz a. D., Humboldtstr. 18

**BÜHLMAYER (München): Gesichtspunkte zur Zusammenhangsbegutachtung bei „Schneeberger Lungenkrebs“.**