

W 86

108

-8-13

mensch+umwelt

Ein Magazin des GSF - Forschungszentrums für Umwelt und Gesundheit

8. Ausgabe März 1993

risivo!



5

76

INHALT

Autoren dieses Hefts	2
Vorwort	3
Reiner Anselm: Da behüte uns Gott Theologisch-ethische Überlegungen zur Risikoproblematik	5-10
Hans-Werner Hense: Hand aufs Herz Gesundheitsrisiko Herz-Kreislauf-Erkrankungen	11-16
Gerhard Welzl: Wenn Gefahren zu Zahlen werden Risikoquantifizierung und Risikoanalyse	17-24
Klaus Köberlein: Wie sicher ist sicher? Risikoanalyse am Beispiel Transport radioaktiver Abfälle	25-28
Albrecht M. Kellerer: Zwischen Fortschrittsglauben und Furcht Anmerkungen zur Risikodiskussion im Strahlenschutz	29-32
H. Erich Wichmann: Wie krank ist die Umwelt? Epidemiologie und Schadstoffrisiken	33-42
Klaus Martignoni: Chance und Risiko - wer wagt gewinnt? Wenn Risiko zur Wissenschaft wird	43-46
Klaus Vieweg: Recht und Risiko Risikoabschätzungen aus juristischer Sicht	47-52
Ortwin Renn: Die Grenzen überschreiten Die Psychologie des Risikos	53-60
Gerhard Gans und Johannes G. Filser: Wie giftig ist Gift? Risikoabschätzungen in der Toxikologie	61-64
Dietrich Henschler: Krebsrisiken im Vergleich Folgerungen für Forschung und politisches Handeln	65-73
Kurzlexikon	74

8. Ausgabe, März 1993

Herausgeber:

GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, GmbH
Mitglied der Arbeitsgemeinschaft der Großforschungseinrichtungen (AGF)

Redaktion:

Heinz-Jörg Haury, Cordula Klemm, Monika Weiner

Redaktionsbeirat:

Dr. Bieniek, Dr. Bunzl, H. Fißlinger, Prof. Hagen, Dr. Langebartels, Prof. Lasser, Dr. Welzl, Prof. Levi, Dr. Martignoni, Dr. Peter, Prof. Schmid, Dr. Voigt

Redaktionsanschrift:

Öffentlichkeitsarbeit GSF
Ingolstädter Landstraße 1
8042 Neuherberg
Tel.: (0 89) 31 87 2804, 31 87 27 12

Satz und Druck:

Fr. Ant. Niedermayr, Graph. Kunstanstalt Regensburg

Titelbild:

Thomas Nittner, München

Grafiken:

Karl-Heinz Krapf, München

Photos:

Bavaria-Verlag Bildagentur, Deutsches Museum, Günter Goddeng, Ingrid Goddeng, Alte Pinakothek, Institut für Geschichte und Medizin, Siemens AG, Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nord, Monika Weiner, Heinz-Jörg Haury, Joachim Heinrich, Reiner Kaaden

Layout und Gestaltung:

Helinä Markkanen, München

Auszüge aus diesem Heft dürfen ohne jede weitere Genehmigung wiedergegeben werden, vorausgesetzt, daß bei der Veröffentlichung der jeweilige Autor und die GSF genannt werden. Um ein Belegexemplar wird gebeten. Alle übrigen Rechte bleiben vorbehalten.

ISSN 0175-4521



Foto: H.-J. Heury

Einst galten radioaktiv strahlende Stoffe als chic und als generell gesundheitsfördernd. In der Medizin entdeckte man bald ihren Nutzen.

Durch Hiroshima und Nagasaki bekam die Radioaktivität den tödlichen Beigeschmack. Tschernobyl wurde zum Symbol für die nukleare Furcht. Die Risikodiskussion im Strahlenschutz ist eine Frage der Ideologie geworden.

Albrecht Maria Kellerer

ZWISCHEN FORTSCHRITTS- GLAUBEN UND NUKLEARER FURCHT

**Anmerkungen zur
Risikodiskussion
im Strahlenschutz**

ZWISCHEN FORTSCHRITTS- GLAUBEN UND NUKLEARER FURCHT

In Kürze blicken wir auf ein Jahrhundert der Nutzung aber auch des Mißbrauches von Strahlung und Radioaktivität zurück. In diesem Zeitraum lernte man mehr über das Risiko ionisierender Strahlung als über das anderer Mutagene, die ebenso wie Strahlung Erbschäden und Krebskrankheiten auslösen können. Wissenschaftliche Erkenntnisse mögen eine notwendige Bedingung für die Beherrschbarkeit zivilisatorischer Risiken und für ihre realistische Beurteilung sein, aber sie sind keine ausreichende Bedingung. Die sich zwischen Extremen verändernde Beurteilung der Strahlung ist das vielleicht deutlichste Beispiel für das Schwanken der Risikowahrnehmung und die Wandelbarkeit der öffentlichen Meinung zu technisch wissenschaftlichen Fragen. Die wechselnden Urteile sind weit weniger bestimmt durch wissenschaftliche Tatsachen als durch die Konsonanzen und Dissonanzen kultureller, politischer und technischer Entwicklungen. Strahlung ist nur ein Beispiel der uns umgebenden Risiken, aber dieses eine Beispiel beleuchtet wichtige Probleme unserer Zivilisation und ihrer Zukunft.

Unbegrenzte Erwartung

1895 entdeckte Wilhelm Conrad Röntgen das Phänomen, das er als eine neue Art von Strahlung bezeichnete, und in wenigen Tagen erfaßte eine Welle der Begeisterung die gesamte - damals als zivilisiert bezeichnete - Welt. Die Entdeckung, die noch unerkannt den Keim für den Einsturz der unerschütterlich scheinenden klassischen Physik barg, wurde zu ihrer Zeit nur als technischer Triumph empfunden und als Verheißung unbegrenzter technischer Möglichkeiten. Die Anwendungen der Röntgenstrahlen in der medizinischen Diagnostik wurden unmittelbar erkannt, Anwendungen in der Strahlentherapie wenige Jahre später verwirklicht. An Gesundheitsschäden dachte man nicht; wenn sie auftraten, blieben sie unbeachtet. Als die Hand zur Kontrolle des Bildes gewohnheitsmäßig in den Röntgenstrahl gehalten wurde, schenkte man den bald auftretenden Verbrennungen und späteren Fällen

von Hautkrebs wenig Beachtung. Nach der Entdeckung der natürlichen Radioaktivität, nur zwei Jahre später, verhielt man sich ebenso. Becquerel pflegte seine Radiumquelle in der Hosentasche zu tragen, nach einiger Zeit bemerkte er entzündliche Veränderungen. Um die Beobachtung zu prüfen, bewahrte er das Präparat in der gegenüberliegenden Tasche. Aber solche 'Experimente' wurden nicht als Warnung angesehen.

1911 berichtet man in Berlin über eine auffallende Häufung von Leukämien bei Radiologen; dies war noch bevor Max von Laue durch seine Beugungsversuche den entscheidenden Hinweis auf die Natur der Röntgenstrahlung gab. Auch dieser Bericht blieb unbeachtet. Bald wurde Strahlung als universales Heilmittel und geradezu als Elixier des Lebens angesehen, das geheimnisvolle Kräfte gegen jede Art von Erkrankung barg. Radium fand eine Vielzahl medizinischer Anwendungen selbst bei gutartigen Erkrankungen, und über die medizinischen Anwendungen hinaus kam es zum allgemeinen Strahlenfetischismus, der sich nicht nur auf den freien Verkauf von Radiumkissen beschränkte, sondern bis zur Vermarktung radioaktiver Zahnpasta und anderer Kosmetika reichte. Das Absurde führte zum Tragischen.

Mißachtete Warnungen

Die Skizze, die in einer New Yorker Zeitung Jahre nach dem Ereignis gedruckt wurde, steht für die erste große Katastrophe durch den ungeschützten Umgang mit Radionukliden. Hunderte junger Frauen wurden, besonders in den Vereinigten Staaten, dazu beschäftigt, Zifferblätter

von Uhren oder von Flugzeugarmaturen mit Leuchtfarbe zu bemalen, die das langlebige, alpha-strahlende Radium-226 enthielt. Die Arbeit war äußerst gefährlich, aber die Gefahr war weder verstanden noch erklärt. Das schlimmste war, daß die Frauen im Akkord und daher möglichst schnell arbeiteten, und aus diesem Grunde die Pinsel mit ihren Lippen spitzten. Die große auf diese Weise inkorporierte Aktivität führte zu schweren Gesundheitsschäden und schließlich zum Tod vieler Frauen, insbesondere durch Knochentumoren. Als ein junger Arzt in Chicago, Harrison Martland, von einem befreundeten Zahnarzt wegen Schäden am Kiefer einer seiner Patientinnen, einer Zifferblattmalerin, um Rat gefragt wurde, vermutete Martland, daß nicht der Phosphor in der Leuchtfarbe die Schäden hervorgerufen haben sondern die Alpha-Strahlung. Als er diese Vermutung in einer medizinischen Zeitschrift veröffentlichte, wurde er in einem Brief an den Herausgeber als Scharlatan angegriffen, der nicht wisse, daß ionisierende Strahlung Gesundheitsschäden nur nach langer und unverhältnismäßig hoher Exposition hervorrufen könne. Der Autor des Briefes hatte die höchsten wissenschaftlichen Qualifikationen. Es war die große Wissenschaftlerin Marie Curie.

Weitere Tragödien durch unkontrollierten Umgang mit Radionukliden und mit Röntgenstrahlen folgten. Einige dieser Tragödien waren nur die Schattenseite von Anwendungen, die wirklichen medizinischen Nutzen brachten. Obwohl jedoch unzählige Leben durch Röntgendiagnostik und Strahlentherapie gerettet wurden, bleibt es schwer verständlich, daß Gesundheitsschäden nach medizinischen Anwendungen nicht kritisch beurteilt wurden oder aufgerechnet wurden in einer Abwägung von Nutzen und Risiko; sie wurden einfach übersehen oder als unbedeutend bezeichnet. Die blinde Zuversicht mußte zu neuen Katastrophen führen, aber der Lernprozeß wurde auf noch grausamere Weise abgekürzt. Die Schrecken des Krieges führten zu einer völligen Umkehr und zu einer in ihr Gegenteil verkehrten Haltung gegenüber den Risiken der Strahlung.

Symbol des Bösen

Nachdem die Atombomben Hiroshima und Nagasaki zerstört hatten, wurden Untersuchungen und Berichte über Gesundheitsschäden durch Strahlung auf Jahre hinaus von den Militärbehörden verboten. Die unmittelbaren Wirkungen der Strahlung waren offensichtlich. Die Spätwirkungen der Strahlenexposi-



Der letzte Schrei von gestern: Radioaktive Zahncreme

tionen wurden viel später erkannt. Sie wurden erstmals deutlich, als im Jahre 1950 eine erhöhte Zahl von Leukämien - ungefähr ein Dutzend pro Jahr - unter den 100 000 Überlebenden auftraten. Man erkannte damals, daß selbst kleine Dosen ionisierender Strahlung somatische Mutationen auslösen und so - wenn auch mit entsprechend geringer Wahrscheinlichkeit - Leukämien induzieren können. Daß ein einziges geladenes Teilchen das genetische Material der Zelle so schädigen kann, daß diese die Wachstumskontrolle verliert, war eine Annahme, die zu einer neuen Philosophie des Strahlenschutzes führte. Bis zu diesem Zeitpunkt war es das erklärte Ziel des Strahlenschutzes gewesen, Gesundheitsschäden völlig zu vermeiden, indem man sicherstellte, daß gewisse postulierte Schwellendosen nicht überschritten wurden. Dieses Konzept war nunmehr als gegenstandslos erkannt worden. Strahlung kann nicht völlig vermieden werden, und wenn auch kleine Dosen ein gewisses Risiko bedeuten, wird es unmöglich sein, Strahlenschäden ganz auszuschalten. Der Mensch war stets der Strahlung aus dem Weltraum, aus dem Boden und aus seinem eigenen Körper ausgesetzt. Das Ziel des Strahlenschutzes kann es nur sein, die Expositionen auf ein annehmbares Maß zu begrenzen und unnötige Strahlenexpositionen zu vermeiden. Auf diese Weise muß sichergestellt werden, daß der Beitrag der Strahlung zur Verursachung von Krebs und von Erbschäden klein bleibt im Vergleich zum Beitrag durch andere Ursachen.

Das schlimme Vermächtnis der Atombomben hat die Prinzipien des Strahlenschutzes geprägt, und diese Prinzipien sind beispielhaft auch für den Schutz gegen andere genotoxische Faktoren. Es gibt heute eine weitgehende Übereinstimmung, daß auch bei vielen chemischen Mutagenen keine völlig sicheren Expositionsschwellen existieren; man kann die Expositionen und damit die Risiken lediglich auf ein annehmbares Maß begrenzen. Jedoch ist dieses Verständnis längst nicht zum Allgemeingut geworden. In der öffentlichen Meinung erregt die Assoziation von Strahlung mit dem Schrecken der Atombomben Befürchtungen und Risikoerwartungen, die wenig zu tun haben mit den wissenschaftlich erwiesenen Tatsachen. Wo vorher Strahlung ganz unberechtigt als Allheilmittel und Quelle geheimnisvoller positiver Kräfte angesehen wurde, verwandelte sie sich nun - mit ebenso wenig Berechtigung - zum Symbol des absolut Bösen und Bedrohlichen. Wo aber Ängste und Mißverständnisse vorherrschen, werden andere Gefahren mißachtet und wichtige



Foto: Goddeng

Die Furcht von heute: Kernreaktoren, hier der stillgelegte Forschungsreaktor auf dem GSF Gelände.

Probleme bleiben ungelöst. Dazu mangelt es nicht an Beispielen.

Mißverständnisse statt Problemlösungen

Es ist eine grausame Ironie, daß das hauptsächlichste Wissen über die Risiken ionisierender Strahlung auf den Wirkungen der Atombomben beruht, d.h. auf der Beobachtung der erhöhten Krebsraten der bestrahlten Überlebenden. Das Grauen der Ereignisse führte zu der verständlichen Vorstellung, daß fast alle Atombombenüberlebenden an strahleninduziertem Krebs sterben, und daß viele ihrer Kinder Erbschäden erlitten haben, die auf die Wirkung der Bombe zurückzuführen sind. Nur die Fachspezialisten wissen, daß bis zum Jahre 1990 insgesamt etwa 450 Krebstodesfälle unter den 100 000 Überlebenden der Strahlung zuzurechnen sind; dies stellt etwa 5 % aller bisher aufgetretenen Krebstodesfälle in dieser Gruppe von Menschen dar. Darüber hinaus sind sich wenige bewußt, daß es bisher nicht möglich war, eine statistisch gesicherte Erhöhung von Erbschäden unter den Nachkommen der Atombombenüberlebenden zu erkennen. Für die Spezialisten bedeuten diese Tatsachen in keiner Weise, daß das Risiko von Spätschäden, d.h. das Risiko strahleninduzierter Krebserkrankungen oder strahleninduzierter Erbschäden, zu vernachlässigen ist. Die Beobachtungen unter den Atombombenüberlebenden sind von größter Bedeutung, und darüber hinaus weiß jeder Epidemiologe, daß auch statistisch nicht aufweisbare Risiken existieren und ernst zu nehmen sind. Für den Laien jedoch erscheinen die obigen Feststellungen allzu leicht als plumpe Lügen, die dazu dienen sol-

len, die Gefahren der ionisierenden Strahlung zu verschleiern. Diese Einstellung wird sich nicht leicht in nüchterne Bewertung umwandeln lassen. Strahlung wird auch in Zukunft assoziiert bleiben mit dem höllischen Symbol der Atombomben. Hätte die Geschichte einen glücklicheren Verlauf genommen ohne den Massenmord totalitärer Systeme und der durch sie ausgelösten Kriege, so könnte Strahlung - und vielleicht auch die Kernenergie - noch heute als das glänzende auf die Erde gebrachte Feuer der Sterne angesehen werden. Auch dies wäre eine naive Idealisierung und eine Verkennung wirklicher Gefahren. Nach den Tragödien und Grausamkeiten dieses Jahrhunderts jedoch hat sich das Symbol des Fortschritts unumkehrbar in das Zeichen von Tod und Vernichtung verwandelt. Kernenergie erscheint als gefährlich und tödlich selbst unter sicherer technischer Kontrolle, und Strahlung wird mit Kernenergie gleichgesetzt.

Die großen Gefahren möglicher Reaktorunfälle sind schwerwiegend, und von besonderem Gewicht ist die schreckliche Drohung der Zerstörung von Reaktoren im Kriegsfall. Aber diese Gefahren rechtfertigen nicht die blinde Dramatisierung der Strahlenrisiken und der möglichen Gesundheitsschäden durch kleine Dosen. Falsche Argumente können auf weite Sicht nicht zu korrekten Lösungen führen.

Die Widersprüchlichkeiten sind noch überraschender in der Medizin. Zahllose Menschen verdanken der Röntgendiagnostik und der Strahlentherapie ihr Leben. Aber dies wird kaum bedacht, und Pläne 1995, das Jahr der 100jährigen Wiederkehr von Röntgens Entdeckung, zum internationalen Jahr der Radiologie zu er-

ZWISCHEN FORTSCHRITTS- GLAUBEN UND NUKLEARER FURCHT

klären, wurden als Blasphemie abgetan. Die Verdrängung geht noch weiter. Wenn Kernspinresonanz als diagnostisches Werkzeug der modernen Medizin genutzt wird, so genügt es nicht, daß dieses Werkzeug ohne ionisierende Strahlung funktioniert. Die im Englischen ursprünglich als Nuclear Magnetic Resonance bezeichnete Methode muß überdies unter dem bereinigten Akronym MR firmieren, befreit vom ominösen N und damit vom Bezug zum erschreckenden Begriff Nuclear.

Als der Kernreaktor in Tschernobyl explodierte, stürzte er ein wie ein neuer Turm von Babel. Er war unzulänglich konstruiert, und die Verständigung zwischen denen, die ihn gebaut hatten und ihn betrieben, war mangelhaft und bedeutungslos geworden. Völliges Chaos jedoch beherrschte die Verständigung zwischen Wissenschaftlern, Politikern und der Öffentlichkeit, und dies galt nicht nur für den Reaktor und sein Ursprungsland. Ein einziges Gramm Radiojod verteilte sich über die Bundesrepublik Deutschland. Dieses eine Gramm war nicht nur ausreichend die Ernten zu ruinieren, es zerstörte auch das Vertrauen zwischen Experten, Regierung und Bevölkerung. Gleichzeitig zerstörte es den gesunden Menschenverstand.

Die Verordnung des Null-Risikos

Es war nicht überraschend, daß es Schwierigkeiten bereitete, zulässige Werte für einen Faktor festzusetzen, für den kein Experte eine völlig sichere Dosis angeben konnte. Aber es war doch erstaunlich, daß in einem der deutschen Länder, in Hessen, die zulässige spezifische Aktivität zunächst amtlich auf Null gesetzt wurde. In der anfänglichen Verwirrung wurde jedes Becquerel als ein Becquerel zuviel bezeichnet, und was als zuviel bezeichnet wurde, wurde als unannehmbar betrachtet. Praktische Zwänge eliminierten nach einigen Wochen die seltsamsten Blüten der Übertreibung. Einige jedoch blieben bestehen und wurden selbst zum Risiko. Das kurzlebige Radiojod war zunächst das Hauptproblem, und es war Grund genug, frische Milch und

Gemüse insbesondere bei Kindern zu vermeiden. Mütter fuhren in ihrer verständlichen Sorge jedoch fort, ihre Kinder mit Trockenmilch und mit Konserven zu ernähren, als das Radiojod längst zerfallen war. Infizierte Nahrung oder Mangel an frischem Obst und Gemüse wurden als das vermeintlich kleinere Übel hingenommen, um winzige Strahlendosen zu vermeiden, selbst wenn sie verschwindend gering waren im Vergleich zur allgegenwärtigen, natürlichen Strahlenexposition.

In der Bundesrepublik traf man die vernünftige Entscheidung, radioaktiv kontaminierte Milch in den ersten Wochen nach dem Unfall aus dem Handel zu nehmen und sie für die Herstellung von Käse zu verwenden. Der Käse konnte aufbewahrt werden bis das Radiojod zerfallen war, aber das Nebenprodukt bei der Käseherstellung waren 8 000 Tonnen Molke, in der das langlebige Radiocaesium angereichert war. Es war selbstverständlich, daß man diese kontaminierte Molke nicht für den menschlichen Verbrauch freigab. Es war weniger deutlich, warum man sie nicht für die Fütterung von Ferkeln benützen sollte, die während ihrer verbleibenden Lebenszeit dieses Cäsium wieder ausscheiden konnten. Und es war ganz unverständlich, warum man nicht die noch einfachere Lösung wählte und das ohnehin fast wertlose Molkepulver beseitigte, beispielsweise als Zugabe zum Beton, der in großen Mengen benötigt wird, um stillgelegte Bergwerke bei der Verfüllung zu stabilisieren.

Einige Politiker jedoch waren nur allzu bereit, ihre Entscheidungen an die Ängste der Bevölkerung und die Dramatisierungen der Medien anzupassen. Sie versprachen, die Nation von der schrecklichen Drohung der Molke zu befreien und die 8 000 Tonnen des harmlosen und wertlosen Pulvers, eines Materials mit einer radioaktiven Belastung, die etwa dem von Kunstdünger gleichkommt, zu reinigen.

Das Versprechen ließ sich nicht widerrufen, und der so ausgelöste Kreuzzug begann mit den beladenen Waggons, die von der Lokomotive durch leere Wägen getrennt waren, um das Personal vor der drohenden Ladung zu schützen. Der Zug wurde für Monate auf einem geschlossenen militärischen Gelände in Quarantäne gehalten, während der große alchemistische Reinigungsprozeß geplant wurde. Wenig wurde bekannt über seine wunderbare Ausführung. Am Ende verschwanden in voller Heimlichkeit 8 000 Tonnen der geretteten Molke und 40 Tonnen des angereicherten Rückstandes aus dem öffentlichen Blickfeld. Zusammen mit der

Molke verschwanden 70 Millionen Mark aus Steuergeldern, sofern man lediglich die offiziellen Zahlen berücksichtigt.

Der eigentliche Verlust war nicht ein monetärer, er war der Verlust an Glaubwürdigkeit, der aus solcher Politik des geringsten Widerstandes resultiert. Der bleibende Schaden ist die vertane Gelegenheit, ein bescheidenes Maß ausgeglichener Bewertung zu bewahren. In den Republiken der ehemaligen Sowjetunion leben noch Hunderttausende von Menschen in Gebieten, in denen sie eine zusätzliche Lebenszeitdosis durch den Reaktorunfall erhalten können, die so hoch ist, wie man sie für die Beschäftigten unseren Kernanlagen nur im Ausnahmefall akzeptiert. Mit einiger Berechtigung mag man versuchen, diesen Menschen zu erklären, daß die zusätzliche Strahlenexposition zwar bedenklich ist, aber doch vielleicht weniger nachteilig als die Evakuierung ohne ausreichende wirtschaftliche und soziale Unterstützung. Aber solche Argumente und selbst Erklärungen an Bevölkerungsgruppen in weit weniger kontaminierten Gebieten werden dem nicht abgenommen, der aus einem Land kommt, in dem Millionen aufgewendet wurden, um die Bevölkerung vor Dosen zu schützen, die eine Million mal geringer waren.

Die Odyssee der kontaminierten Molke darf nicht einfach vergessen werden, weil sie mehr ist als die Geschichte einer politischen Fehlentscheidung. Sie verdeutlicht eine Frage, die kritisch ist für unsere Zukunft. Moderne Technologien können wachsende Gräben schaffen zwischen denen, die sie beherrschen und denen, die durch sie beherrscht werden. Es mag zum Luxus der reichen Länder gehören, diese Spaltung hinzunehmen und die so entstehende Irrationalität sogar zu kultivieren. Aber die reichen Länder sind kein geschlossenes System. Die gemeinsame Zukunft der Menschheit verlangt nicht Illusionen, sondern nüchternes Verständnis und ehrliche Lösungen, die auf wissenschaftlicher Erkenntnis und belegten Fakten beruhen.

LITERATUR

Jagie von, N., Schwarz, G., von Siebenrock, I. Blutbefunde bei Röntgenologen. Berl. Klin. Wschr. 48, 1220-1222 (1911)

Strahlenschutzkommission: Auswirkungen des Reaktorunfalls in Tschernobyl in der Bundesrepublik Deutschland, Band 5.

Hrg. Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. G. Fischer-Verlag Stuttgart (1986).

Gössner, W., Gerber, G.B., Hagen, U., Luz, A. The Radiobiology of Radium and Thorotrast. Urban & Schwarzenberg (1986)

Lewis, E.B. Leukemia and Ionizing Radiation. Science, 965-972 (1957)