

Stochastische Strahlenwirkungen durch den Einsatz von Durchleuchtungen zur Tuberkulosevorsorge

Kuni, H.

Med. Zentrum für Radiologie, Klinikum der Philipps-Universität, 35033 Marburg/Lahn

Zusammenfassung

Die regelmäßige Röntgenuntersuchung zum Ausschluss einer Lungentuberkulose gehörte bei einigen Berufen zu den Voraussetzungen der Berufstätigkeit. Die damit verbundene Strahlenbelastung ist vor allem in der Diskussion um die Ursachen gehäufte Krebserkrankungen unzureichend beachtet worden. Bis in die siebziger Jahre war bei vielen Einrichtungen die Durchleuchtung die bevorzugte Untersuchungsmethode.

Für den Zeitraum von 1950 bis 1972 wird die Eintrittsdosisleistung frei Luft abgeschätzt und mit Konversionsfaktoren die Dosis der Organe errechnet, die bei einer Lungendurchleuchtung wesentlich exponiert wurden. Von 1972 zurückgehend wird der Zeitraum ermittelt, in dem bei jährlicher Durchleuchtung die Verdoppelungsdosis für die Auslösung von Krebserkrankungen oder -todesfällen überschritten wird. Für diese exemplarische Berechnung wird eine jährliche Untersuchung von Frauen im Alter von 20 bis 39 Jahren angenommen.

Im diesem Zeitraum ging die Dosisleistung um etwa eine Größenordnung zurück. Für die Organe Lunge, Mamma, Speiseröhre, rotes Knochenmark und Haut (im Strahlenfeld) wird dennoch bereits in einem Bruchteil des Zeitraumes die Verdoppelungsdosis überschritten. Für die Schilddrüse gilt das, wenn die erste Durchleuchtung einer Frau bereits vor dem 19. Lebensjahr erfolgte und das Organ im Feld lag.

In der Diskussion wird herausgestellt, auf welche modifizierende Einflussfaktoren bei einer individuellen Beurteilung besonders geachtet werden muss.

Vorwort zur 2. durchgesehenen Auflage

In der ersten Fassung war der Text als Vortrag mit dem Titel „Stochastische Strahlenwirkungen durch die Tuberkulosevorsorge als Berufskrankheit“ 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. 88-105). 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].

In der Diskussion müssen auch die aktuellen Auseinandersetzungen über die Epidemiologie der Krebserkrankungen, insbesondere des Brustkrebses, berücksichtigt werden.

Fragestellung

Der intensive Einsatz röntgendiagnostischer Maßnahmen, zahlreiche Durchleuchtungen bei der Therapie einer Tuberkulose mit Pneumothorax, aber auch eine Häufung von Aufnahmen der (Brust-)Wirbelsäule bei der Therapie der Skoliose, hat als unerwünschte und zur Zeit der Anwendung wohl auch unvorhergesehene Nebenwirkung die Auslösung bösartiger Tumore bewirkt. Als solche stochastische Folgewirkungen konnten nicht nur in epidemiologischen Untersuchungen eine Häufung von Brustkrebs nachgewiesen werden [Boice Jr. et al. 1991, Hoffman et al. 1989, Miller et al. 1989]. Begemann hat einen Fall einer Leukämie publiziert, in dem er gemeinsam mit Schmitz-Feuerhake zeigen konnte, dass durch die intensive Röntgendiagnostik im Rahmen der Tuberkulosebehandlung die Verdoppelungsdosis im Knochenmark für Leukämie überschritten worden war. Dies war Grundlage dafür, in diesem Fall nicht nur die Tuberkulose, sondern auch als Therapiefolge die Leukämie und den Tod an einer Komplikation dieser Erkrankung als Wehrdienstbeschädigung anzuerkennen [Begemann 1991]. Es stellt sich die Frage, ob auch schon durch Röntgendurchleuchtungen zur Tuberkulosevorsorge eine Dosis kumuliert worden sein kann, die im Einzelfall die Verdoppelungsdosis für stochastische Strahlenwirkungen überschreitet.

Ausgangspunkt war die Analyse eines Todesfalls an einer akuten myeloischen Leukämie, an der eine Krankenschwester nach mehr als neunjähriger Tätigkeit auf der Radiumstation einer Universitäts-Frauenklinik erkrankt war. Die berufliche Lebensdosis durch Gammastrahlung war mit nur 70 mSv ermittelt worden. Deshalb war ein Zusammenhang der Erkrankung mit der beruflichen

Strahlenbelastung bei der internistisch-hämatologischen Begutachtung abgelehnt worden. Eine Revision dieser Strahlenbelastung ergab durch Analyse der Anzeige des am Finger getragenen TLD-Dosimeters unter Berücksichtigung der Arbeitsbedingungen Indizien für eine wiederholte Untererfassung der Dosis durch das amtliche Filmdosimeter. Die Gammastrahlendosis musste auf 93 mSv korrigiert werden, dennoch noch niedriger als eine Verdoppelungsdosis. Auch der geschätzten Dosis durch das Halten von Kindern bei Röntgenaufnahmen in den ersten Berufsjahren mit 37 mSv konnte kein wesentlicher Verursachungsbeitrag zugemessen werden.

Vor ihrer Tätigkeit als Radiumschwester war die Patientin mehr als 24 Jahre als Säuglings- und Kinderkrankenschwester tätig gewesen und deshalb wohl besonders sorgfältig der Tuberkulosevorsorge unterzogen worden. Mit der dabei aufgenommenen Strahlendosis von etwa einem Sievert (!) erreichte die berufliche Lebensdosis ein Mehrfaches der Verdoppelungsdosis und war überwiegend für die Auslösung der Leukämie verantwortlich zu machen. Die Leukämie war deshalb als Berufskrankheit anzuerkennen.

Im folgenden Beitrag soll die Problemlösung verallgemeinert werden, um den Personenkreis zu beschreiben, der von solchen Berufskrankheiten betroffen sein kann, und die möglicherweise betroffenen Organe zu ermitteln.

Methode

Die Dosis wurde retrospektiv unter folgenden Annahmen abgeschätzt: Die Untersuchung erfolgte als Durchleuchtung mit einer mittleren Durchleuchtungszeit von 90 s. Es wurde durch Drehen 75% der Zeit in der pa-Strahlenrichtung und je 12,5% in einer links und rechts seitlichen Richtung exponiert.

Zunächst wurde ein Szenario über die Veränderung der Eintrittsdosisleistung frei Luft (EDL) entwickelt. Betrachtet wurde der Zeitraum von 1950 bis 1973. Nach Inkrafttreten der Röntgenverordnung wird eine grundsätzliche Abkehr von der Durchleuchtung unterstellt. Für die Zeit von 1950 bis 1955 werden die von Boice Jr. et al. [1978] ermittelten apparativen Bedingungen unterstellt. Bei 85 kV Röhrenspannung und einer zusätzlichen Filterung von 2 mm Al wird die von den Autoren ermittelte mittlere EDL von 21,1 R/min bei einer ersten Halbwertsschichtdicke von 2 mm Al übernommen. Vereinfachend wurde 1 R in 10 mGy konvertiert. Für 1965 wurde nach Glocker [1957, zit. nach von Boetticher 1993] eine EDL von 100 mGy und eine Röhrenspannung von 90 kV mit einer Gesamtfiltration von 2,5 mm Al angenommen. Die Reduktion der EDL zwischen 1955 und 1965 wurde durch eine Exponentialfunktion interpoliert, was bei Verwendung einer Halbwertszeit von 9,3 Jahren gelang. Ab 1965 wurde ein zunehmender Ersatz der konventionellen Durchleuchtungstechnik durch Bildverstärker-Fernsehkameras unterstellt. Nach Yamamoto et al. [1986] wurde pro Jahr ein Ersatz von 10% der alten Technik übernommen. Für die Bildverstärkertechnik wurde für diesen Zeitraum eine EDL von 10 mGy nach Lissner und Hug [1975] unterstellt.

Durch Multiplikation der so ermittelten EDL mit der mittleren Durchleuchtungszeit wurde die Eintrittsdosis frei Luft errechnet und diese durch Multiplikation mit dem Konversionsfaktor in die Organdosis konvertiert. Dabei wurden für den Zeitraum nach 1965 die Faktoren für erwachsene Frauen nach Drexler et al. [1993] verwendet. Für den Zeitraum davor wurde von niedrigeren Konversionsfaktoren ausgegangen und so extrapoliert, dass die Organdosen mit Ausnahme der Haut unverändert blieben. Für die Schilddrüse wurde alternativ auch mit dem Konversionsfaktor für Ösophagus gerechnet. Für die Haut wurden die Konversionsfaktoren nach Drexler et al. für den gesamten Zeitraum verwendet. Die so ermittelte Organdosis wurde nach von Boetticher [1993] mit einem Faktor Zwei beaufschlagt, um dem Unterschied zwischen realistischen und optimalen Arbeitsbedingungen Rechnung zu tragen.

Zur Beurteilung der strahlenbiologischen Wirkung wurden die Beobachtungen an den Atombombenopfern von Hiroshima und Nagasaki herangezogen. Gegenüber der Berechnung in der ersten Auflage, bei der eine im Vergleich zur Röntgenstrahlung niedrigere relative biologische Wirksamkeit der harten Gammastrahlung aus der Atombombe von 0,5 berücksichtigt worden war [BEIR V 1990, ICRP 60 1991, ICRU 40 1986], wurden die Organdosen durch Multiplikation mit einem Faktor Vier in eine zur Gammastrahlung der Atombombe biologisch äquivalente Dosis umgerechnet [Straume 1995].

Die Verdoppelungsdosen wurden als Kehrwerte aus den Angaben für das excess relative risk bei 1 Gy für die Krebsinzidenz von Frauen der Altersgruppe 20-39 Jahre errechnet [Thompson et al. 1994]. Sodann wurde vom Jahr 1972 an zurückgehend bei Annahme einer jährlichen Durchleuchtung die Organdosis so oft aufsummiert, bis das Jahr erreicht war, ab dem bei Beginn einer jährlichen Gesundheitsüberwachung bis zum Jahr 1972 die Verdoppelungsdosis überschritten wurde. Für den Ösophagus wurde das Dosisintegral alternativ auch mit der Verdoppelungsdosis, bezogen auf die Organdosis, verglichen, die sich nach den Angaben von Shimizu et al. [1988] und BEIR V [1990] aus dem relativ risk pro Sievert für den Tod an Ösophaguskrebs errechnet. Für das rote Knochenmark wurde der Zeitraum ermittelt, in dem bei einer jährlichen Durchleuchtung bis zum Jahr 1972 die Summe des excess relativ risk für den Tod an Leukämie im Jahr 1991 nach dem Modell von BEIR V [1990] den Wert von 1,0 überschreitet. Für die Schilddrüse wurde alternativ auch eine Lage im Feld unterstellt und der Konversionsfaktor für Ösophagus auf dieses Organ angewendet. Zusätzlich wurde der Zeitraum ermittelt, in dem die Summe des excess relative risk bei einem Beginn der jährlichen Durchleuchtung einer Frau im 14. Lebensjahr den Wert von 1,0 überschreitet.

Ergebnisse

Den zwischen den gewählten Stützpunkten berechneten Verlauf der EDL von 1950 bis 1973 zeigt Abb. 1). Die daraus berechneten Organdosen, die verwendeten Konversionsfaktoren und der Zeitraum, in dem bis 1972 eine Verdoppelungsdosis überschritten worden ist, werden hier für die

Organe Lunge (s. Abb. 2), Brustdrüse (s. Abb. 3), Ösophagus, für diesen mit zwei verschiedenen Verdoppelungsdosen (s. Abb. 4) und (s. Abb. 5), für das rote Knochenmark (s. Abb. 6), für die Haut der Rumpfvorderseite (s. Abb. 7) und der Rumpfrückseite (s. Abb. 8) sowie für die Schilddrüse, falls sie im Strahlenfeld lag (Abb. 9), dargestellt.

Abb. 10 zeigt die gesamte Bilanz der Todesfälle durch die Röntgenreihenuntersuchungen im letzten Jahr 1973, als die Dosisleistung den niedrigsten Wert erreicht hatte. Mithilfe des Verlaufs der EDL nach Abb. 1 können die entsprechenden Werte für die früheren Jahre ermittelt werden.

Diskussion

Eine jährliche Röntgenuntersuchung der Lunge war in vielen Bereichen Voraussetzung für die Berufstätigkeit. Im Bereich der Berufsgenossenschaft Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege schrieb dies die Unfallverhütungsvorschrift bis 1986 vor. Auch Berufe wie Kindergärtnerin und Lehrerin waren von diesem Vorgehen betroffen. Für Berufe im Gesundheitswesen war beim Kontakt mit Kranken, die eine offene Lungentuberkulose hatten, sogar eine Lungenuntersuchung in halbjährigem Abstand vorgeschrieben. In den ersten Nachkriegsjahren wurde diese Untersuchung im Regelfall als Durchleuchtung durchgeführt. Gründe dafür waren: Ersparnis der Filmkosten, bessere diagnostische Möglichkeiten im fließenden Strahlengang und fehlendes Bewusstsein für mögliche unerwünschte Strahlenwirkungen. Zudem schien in dieser Zeit als relevante Spätfolge nur die genetische Gefährdung beachtenswert zu sein. Thoraxuntersuchungen galten jedoch als Maßnahmen mit relativ geringer Gonadendosis. Erst in den 70er Jahren, nach dem die Strahlenschutzverordnung unter dem Eindruck der gehäuften Leukämiefälle auch einen besonderen Schutz des roten Knochenmarks vorschrieb, verdichtete sich die Forderung nach einem grundsätzlich besseren Strahlenschutz in der Röntgendiagnostik und konkretisierte sich u.a. in der Forderung, eine Aufnahme grundsätzlich der Durchleuchtung vorzuziehen, was in der 1973 in Kraft getretenen Röntgenverordnung auch normativen Niederschlag fand.

Es erscheint deshalb gerechtfertigt, in einer allgemeinen Berechnung zu prüfen, ob und unter welchen Umständen in diesem Personenkreis die Verdoppelungsdosis für die Auslösung oder den Tod an einer Krebserkrankung überschritten wird. Denn in diesem Fall ist der Gesundheitsschaden als Berufserkrankung nach Ziffer 2402 der Anlage 1 der Berufskrankheitenverordnung anzuerkennen. Die hier gewählte pauschale Betrachtungsweise kann bei der Entscheidung helfen, ob eine Anzeige auf Verdacht einer Berufserkrankung gestellt wird. Im Einzelfall muss versucht werden, durch Erhebung personenspezifischer Fakten die Kalkulation zu individualisieren. Wesentliche Einflussgrößen, die dabei zu beachten sind, werden noch diskutiert.

Die Strahlendosis bei Durchleuchtungen ist wesentlich höher als bei Aufnahmen, auch höher als bei der konventionellen Schirmbildtechnik, so dass der Dosisbeitrag zusätzlicher Aufnahmen bei der hier

gewählten pauschalen Betrachtungsweise vernachlässigt werden kann. Wesentlich höher als bei Aufnahmen ist auch die Abweichung der Dosen bei einzelnen Untersuchungen von einem mittleren Wert oder, wegen der Schiefe der Häufigkeitsverteilung in der Praxis beobachteter Dosen, vom Median. Diese Unsicherheit macht es nachvollziehbar, dass sich in der Literatur selten Angaben zur Strahlenbelastung finden, darf aber nicht dazu führen, dass eine Betrachtung der möglichen Strahlenbelastung und ihrer Folgen unterbleibt. Sie erlaubt aber Näherungen, wie die hier gewählte Vereinfachung bei der Umrechnung von Literaturangaben $1 \text{ R} \approx 10 \text{ mGy}$, oder die Vernachlässigung der Unsicherheit, dass bei manchen Angaben über die Eintrittsdosisleistung (EDL) nicht deklariert ist, ob sie frei Luft oder als Hautdosis gemessen worden ist.

Folgende Faktoren können zu einer Unterschätzung der EDL führen: In den Nachkriegsjahren können überalterte Fluoreszenzschirme mit einer erheblichen Verzögerung erneuert worden sein. So zitiert Bäuml [1989] eine 1979 publizierte Untersuchung des ZVEI, nach der über 50% der Röntgenanlagen älter als zehn Jahre alt ist und berichtet von einer Dosisreduktion bei den Schirmbildaufnahmen um den Faktor Zwei allein durch einen Ersatz alter Schirme.

Die Geschwindigkeit, mit der die Bildverstärker-Fernsehkette eingeführt worden ist, wurde aus Beobachtungen von Yamamoto et al. [1986] in den Krankenhäusern von Hiroshima und Nagasaki übernommen, wo die Einführung dieser Technik ab 1966 erfolgte, und optimistisch die kürzeste, bei Radiologen beobachtete Innovationsrate von 10% pro Jahr übernommen. Abweichungen sind wohl eher im ungünstigeren Sinne möglich. Nach v. Boetticher [1993] wurde in Deutschland vor 1965 diese Technik nur in Einzelfällen angewendet. Häufig wurde aber für Thoraxuntersuchungen weiterhin die konventionelle Durchleuchtungstechnik eingesetzt, obwohl eine Bildverstärker-Fernsehkette zur Verfügung stand, da das Auflösungsvermögen der ersten Gerätegeneration zum Erkennen feiner Strukturen als unzureichend angesehen wurde. In jedem Fall dürfte bei der Anwendung von Bildverstärkern zur Erzielung einer hinreichenden Auflösung mit der höchsten Dosisleistungsstufe gearbeitet worden sein. Die angenommene rasche Rückführung der Dosis kann deshalb auch aus diesem Grund viel zu optimistisch angesetzt sein. Für den Zeitraum 1973 bis 1978 haben Ewen und Sprenger [1981] noch bei 16% der Durchleuchtungen den Einsatz der Leuchtschirmtechnik vorgefunden, wobei nicht nach Einsatzgebiet differenziert wurde. Die Annahme ist naheliegend, dass bei Thoraxdurchleuchtungen der Anteil wesentlich höher lag als im Durchschnitt. Dies mag etwas dadurch ausgeglichen werden, dass der Ersatz der Durchleuchtungstechnik durch eine Aufnahme oder wenigstens durch eine Schirmbildaufnahme schon vor 1973 in breiterem Umfang Platz gegriffen haben kann.

Bei einer individuellen Beurteilung sollte natürlich der Versuch gemacht werden, die technischen Voraussetzungen näher zu bestimmen, vor allem das Datum technischer Umstellungen, damit die stetige Näherungsfunktion durch die realistischere Treppenfunktion ersetzt werden kann.

Der Vorschlag v. Boettichers, den Unterschied zwischen realistischen und optimalen

Arbeitsbedingungen mit einem Faktor Zwei zu berücksichtigen, dem hier gefolgt wurde, fußt ausschließlich auf technischen Varianzen. Seine Annahme deckt sich gut mit einem Befund von Ewen und Sprenger [1981], die in der Praxis bei der konventionellen Technik im Mittel 2,32fach und bei der Bildverstärkertechnik 1,63fach höhere Dosisleistungen fanden als nach dem Stand der Technik möglich. Nicht beachtet ist dabei, dass schon in den Wirtschaftswunderjahren das Durchschnittsgewicht der Bundesbürger sich von dem des Aldermaston-Phantoms weit entfernt hatte, das den Dosiskalkulationen zugrunde liegt. Für etwa 4 cm zusätzliches Fettgewebe muss die Eintrittsdosisleistung verdoppelt werden. Außer der Haut werden dadurch die Organdosen um etwa 30% erhöht. Bei einer individuellen Beurteilung kann durch Rückgriff auf Dokumente, z.B. Protokolle von Einstellungsuntersuchungen, das Ausmaß eines Übergewichtes und damit einer Dosiserhöhung quantifiziert werden. Die Nichtberücksichtigung des durchschnittlichen Übergewichtes in der vorliegenden Betrachtung hat ein zu optimistisches Szenario der EDL zur Folge.

Häufig dürften auch Residuen früherer Lungenaffektionen, z.B. eine alte, vernarbte Spitzentuberkulose, Anlass zusätzlicher Durchleuchtungskontrollen zu einer Zeit gewesen sein, als es schon zum Standard geworden war, zur Gesundheitsüberwachung zunächst nur eine konventionelle Thoraxaufnahme oder eine Schirmbildaufnahme anzufertigen. Bei einer individuellen Betrachtung kann deshalb der Zeitraum mit einer Strahlendosis im Ausmaß einer Durchleuchtung weit über das Jahr 1973 hinausgehen.

Bei der Beendigung eines Arbeitsverhältnisses im klinischen Bereich wurde in der Regel eine Entlassungsuntersuchung durchgeführt. Wegen einer früher noch ausgeprägteren Insensibilität gegenüber Doppeluntersuchungen und Mängel in der Kommunikation folgte bei Stellenwechsel unmittelbar darauf wieder eine erneute Einstellungsuntersuchung. Die Untersuchungsfrequenz konnte deshalb auch ohne einen beruflichen Umgang mit offener Lungentuberkulose deutlich höher sein als einmal pro Jahr.

Einer großen Variabilität unterliegt auch die Durchleuchtungszeit. Den angesetzten 90 s als Mittel des von Lissner und Hug [1980] angegebenen Bereiches von ein bis zwei Minuten kommt ein experimentell ermittelter Mittelwert von 83 s sehr nahe [Schoen und Griesser 1964, zitiert in Schinz und Wideröe [1965]. Contento et al. [1988] schildern durchschnittliche Durchleuchtungszeiten von 78 s in Italien und 192 s in Großbritannien. Die Angabe von 15 s für Frankreich wird in der Publikation von dem Autorenkollektiv aus drei Ländern selbst mit der Anmerkung relativiert, dass die Durchleuchtung in Frankreich in der Regel lediglich zur Positionskontrolle vor einer Aufnahme diene und dadurch der niedrige Mittelwert zu erklären sei. Auch Ewen geht von einer Durchleuchtungszeit von 1,5 min aus [zit. nach v. Boetticher 1993].

Die Übertragung von Dosisfaktoren, die ursprünglich für eine Röntgenaufnahmetechnik mit der Monte-Carlo-Methode berechnet worden sind, auf eine Durchleuchtung birgt Fehlerquellen. Während der in der Regel geringere, aber variable Fokus-Haut-Abstand eher eine untergeordnete Bedeutung haben

dürfte, haben die Abweichungen in der Feldgröße sicher einen bedeutenderen Einfluss. Die Einblendungsdisziplin ist nicht nur vom Untersucher abhängig, sondern dürfte auch mit der Zeit und einer zunehmenden Beachtung des Strahlenschutzes zugenommen haben. Unrealistisch ist auch die Annahme einer konstanten Spannung. In der Durchleuchtungspraxis wurde sie häufig abgesenkt und variiert, um unklare Strukturen besser differenzieren zu können. Die geringere Strahlenenergie musste dann durch eine höhere Stromstärke kompensiert werden, wodurch vor allem die Hautdosis auf der Eintrittsseite erheblich, in geringerem Umfang auch die Organdosen, zugenommen haben können. Dies gilt auch sinngemäß für eine Abweichung von der hier angenommenen starken Filterung.

Die Annahme, dass trotz einer in der Vergangenheit höheren EDL die Organdosen konstant geblieben sind, führt für den Beginn des betrachteten Zeitraums zu Konversionsfaktoren, die mit Messungen und Berechnungen für die damalige Durchleuchtungstechnik vereinbar sind [Sherman et al. 1978], soweit sie für die hier untersuchten Organe vorliegen, also Lunge, Mamma und rotes Knochenmark. Der Konversionsfaktor für die Schilddrüse ist von Drexler et al. [1993] unter der modelladäquaten Annahme berechnet worden, dass dieses Organ nicht im direkten Strahlengang liegt, eine Voraussetzung, die in vielen Fällen sicher nicht zutrifft. Deshalb wurde zusätzlich hilfsweise der wahrscheinlich realistischere Konversionsfaktor für die Speiseröhre auf dieses Organ angewendet.

Die Dosis der Haut wird auch auf der Vorderseite des Rumpfes durch die Eintrittsdosis dominiert, die bei einer Durchleuchtung im fließenden Strahlengang bei seitlicher Einfallsrichtung die Haut trifft. Die reale Dosis ist wegen des zunehmend flacheren Einfallswinkels in der Körpermitte vorn deutlich niedriger als berechnet. Dies gilt auch für die Dosis auf der Rückseite des Rumpfes zu den Seiten hin. Dennoch ist denkbar, dass die Summierung der Eintrittsdosen auf dem Rücken in einzelnen Fällen die Schwelle für deterministische Hautschäden überschreiten kann, eine Beobachtung, die bei MacKenzie [1965] die Vermutung eines Zusammenhangs zwischen Brustkrebs und häufiger Thoraxdurchleuchtung wegen einer Pneumothoraxbehandlung induzierte.

Die Verdoppelungsdosis für die Inzidenz des Speiseröhrenkrebses nach Thompson et al. [1992/1994] beruht für die betrachtete Altersgruppe auf einer sehr geringen Fallzahl. Deshalb wurde zum Vergleich die Verdoppelungsdosis für die Mortalität an Speiseröhrenkrebs nach Shimizu et al. [1988] verwendet. Das Ergebnis dieser Betrachtung gilt für alle Altersgruppen und beide Geschlechter. Bei einer individuellen Betrachtung muss die teilweise erhebliche Altersabhängigkeit der Verdoppelungsdosen beachtet werden. Für den Brustkrebs zeigen das bereits Untergruppen der hier analysierten Altersgruppe von 20 bis 39 Jahre [Tokunaga et al. 1994]. Erst recht gilt das, wenn die regelmäßigen Durchleuchtungen bereits vor dem 20. Lebensjahr begonnen haben, wie das bei den Krankenpflegeberufen die Regel gewesen, aber auch für Krankenpflegepraktika zu Beginn eines Medizinstudiums zutreffend sein dürfte. Bei einer Frau, bei der die Schilddrüse im Strahlenfeld liegt, genügt bereits eine einzige Durchleuchtung vor dem 20. Lebensjahr um einen derart hohen Beitrag für die Inzidenzwahrscheinlichkeit zu liefern, dass durch weitere jährliche Durchleuchtungen im betrachteten Zeitraum die Verdoppelungsdosis für (benigne und maligne) Tumore der Schilddrüse

überschritten wird.

Sadamori et al. [1991] haben keinen Unterschied für das excess relative risk gefunden, wenn sie die Inzidenz von Hautkrebs mit und ohne Einschluss der malignen Melanome berechnet haben. Die hier festgestellte Überschreitung der Verdoppelungsdosen, die Thompson et al. [1992/1994] für Hautkrebs ohne das maligne Melanom gefunden haben, dürfte deshalb wohl auch für das maligne Melanom (und auch für benigne Tumore der Haut) gelten.

Schließlich muss darauf hingewiesen werden, dass aus Gründen der Einheitlichkeit die Verdoppelungsdosen für die soliden Tumoren im wesentlichen aus einer Publikation [Thompson et al. 1992/1994] entnommen wurden und für Leukämien auf eine zweite Publikation [BEIR V 1990] zurückgegriffen wurde, die auch für diese Malignomart das relative risk-Modell anwendet. In Grenzfällen muss bei einer individuellen Beurteilung sorgfältig abgewogen werden, ob die Voraussetzungen der jeweiligen Modelle genügend konservativ sind und ob nicht auch Auswertungen anderer belasteter Kollektive zum Vergleich herangezogen werden müssen. Dies gilt auch für den Einfluss der nach einer Strahlenbelastung verstrichenen Zeit (time since exposure-Effekt). So geht z.B. das Modell nach BEIR V [1990] bei einer Bestrahlung nach dem 20. Lebensjahr davon aus, dass sich zusätzliche Todesfälle durch Leukämie innerhalb eines Zeitraumes von maximal 30 Jahren manifestieren. Shimizu et al. [1988] konnten dagegen nachweisen, dass Leukämien bis zum Ende ihrer Beobachtungsperiode gehäuft auftraten. Noch für den Zeitraum 1981 bis 1985, also 36 bis 40 Jahre nach der Atombombenexplosion, war das excess relative risk hochsignifikant ($p = 0,0027$) erhöht mit einer Verdoppelungsdosis für alle Altersklassen und beide Geschlechter zusammen von 347 mSv! Solche Diskussionen ließen sich noch lange fortsetzen. Für den in der vorliegenden Arbeit angestrebten Überblick mag aber diese vereinfachte Beurteilung ausreichen.

Literatur

Bäuml, A. 1989

Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik - eine preiswerte Maßnahme in der Strahlenhygiene
Röntgenpraxis 42, 112-114

Begemann, H. 1991

Umwelt und Mensch: Menetekel Krankheit
In: Bastian, T., Bonhoeffer, K. (Hrsg.):
Thema: Radioaktivität
Wege zu einer sozialverpflichteten Medizin
S. Hirzel Wiss. Verlagsges. Stuttgart, S. 151 ff.

BEIR V 1990

Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations
Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation
National Academy Press, Washington DC

Boetticher, H. v. 1993

Abschätzung der Knochenmarksdosis bei weit zurückliegenden Röntgenuntersuchungen
In: Lengfelder, E., Wendhausen, H. (Hrsg.):
Neue Bewertung des Strahlenrisikos, Niedrigdosis-Strahlung und Gesundheit
MMV Medizin Verlag, München, S. 61 ff.

Boice, Jr., J.D., Preston, D., Davis, F.G., Monson, R.R. 1991

Frequent Chest X-Ray Fluoroscopy and Breast Cancer Incidence among Tuberculosis Patients
in Massachusetts
Radiat. Res. 125, 214-222

Boice, Jr., J.D., Rosenstein, M., Trout, E.D. 1978

Estimation of Breast Doses and Breast Cancer Risk Associated with Repeated Fluoroscopic
Chest Examinations of Woman with Tuberculosis
Radiat. Res. 73, 373-390

Contento, G., Malison, M.R., Padovani, R., Maccia, C., Wall, B.F., Shrimpton, P.C. 1988

A Comparison of Diagnostic Radiology Practice and Patient Exposure in Britain, France and
Italy
Br. J. Radiol. 61, 143-152

Drexler, G., Panzer, W., Stieve, F.-E., Widenmann, L., Zankl, M. 1993

Die Bestimmung von Organdosen in der Röntgendiagnostik
Hoffmann Verlag, Berlin

Ewen, K., Sprenger, D. 1981

Die Reduzierung der genetisch signifikanten Dosis in der Bundesrepublik Deutschland als Folge
von Überprüfungen medizinischer Röntgeneinrichtungen durch Sachverständige
Röfo (Fortschr. Röntgenstr.) 135, 346-350

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

Hoffman, D.A., Lonstein, J.E., Morin, M.M., Visscher, W., Harris III, B.S.H., Boice, Jr., J.D. 1989

Breast Cancer in Woman with Scoliosis Exposed to Multiple Diagnostic X Rays
J. Natl. Cancer Inst. 81, 1307-1312

ICRP 60 1991

International Commission on Radiological Protection
Publication 60
1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection
Annals of the ICRP Vol. 21, No. 1-3
Pergamon Press, Oxford, New York, Seoul, Tokyo

ICRU 40 1986

International Commission on Radiation Units and Measurements
The Quality Factor in Radiation Protection
Report of a Joint Task Group of the ICRP and ICRU to the ICRP and ICRU
Report 40, Bethesda, Maryland 20814, USA

Lissner, J., Hug, O. 1980

Radiologie I, 2. Aufl.
Ferdinand Enke Verlag Stuttgart

MacKenzie, I. 1965

Breast Cancer Following Multiple Fluoroscopies
Brit. J. Cancer 19, 1-8

Miller, A.B., Howe, G.R., Sherman, G.J., Lindsay, J.P., Yaffe, M.J., Dinner, P.J., Risch, H.A.,
Preston, D.L. 1989

Mortality from Breast Cancer after Irradiation during Fluoroscopic Examinations in Patients
being Treated for Tuberculosis
N. Engl. J. Med. 321, 1285-1289

Sadamori, N., Otake, M., Honda, T. 1991

Study of Skin Cancer Incidence in Nagasaki Atomic Bomb Survivors, 1958-1985
Technical Report, Hiroshima, RERF TR 10-91

Schinz, H.R., Wideröe, R. 1965

III. Strahlengefährdung und Strahlenschutz
In: Schinz, H.R., Baensch, W.E., Frommhold, W., Glauner, R., Uehlinger, E., Wellauer, J.
(Hrsg.): Lehrbuch der Röntgendiagnostik Band I Allgemeine Grundlagen und Methoden
G. Thieme, Stuttgart 1965, S. 95ff.

Sherman, G.J., Howe, G.R., Miller, A.B., Rosenstein, M. 1978

Organ Dose per Unit Exposure Resulting from Fluoroscopy for Artificial Pneumothorax
Health Physics, 35, 259-269

Shimizu, Y., Kato, H., Schull, W.J. 1988

Life Span Study Report 11
Part 2. Cancer Mortality in the Years 1950-85 Based on the Recently Revised Doses
(DS86) Technical Report, Hiroshima, RERF TR 5-88

Straume, T. 1995

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

Thompson, D.E., Mabuchi, K., Ron, E., Soda, M., Tokunaga, M., Ochikubo, S., Sugimoto, S.,
Ikeda, T., Terasaki, M., Izumi, S., Preston, D.L. 1992/1994

Cancer Incidence in Atomic Bomb Survivors. Part II: Solid Tumors, 1958-1987
Technical Report, Hiroshima, 1992, RERF TR 5-92
Radiat. Res. 137, 1994, S17-S67

Tokunaga, M., Land, Ch.E., Tokuoka, S., Nishimori, I., Soda, M., Akiba, S. 1994
Incidence of Female Breast Cancer among Atomic Bomb Survivors, 1950-1985
Radiat. Res. 138, 209-223

Yamamoto, O., Antoku, S., Russell, W.J., Fujita, S., Sawada, S. 1986
Medical X-Ray Exposure Doses as a Possible Contaminant of Atomic Bomb Doses
Technical Report, Hiroshima, RERF TR 16-86

Abb. 1: Szenario für die Veränderung der Eintrittsdosisleistung frei Luft innerhalb des betrachteten Zeitraums

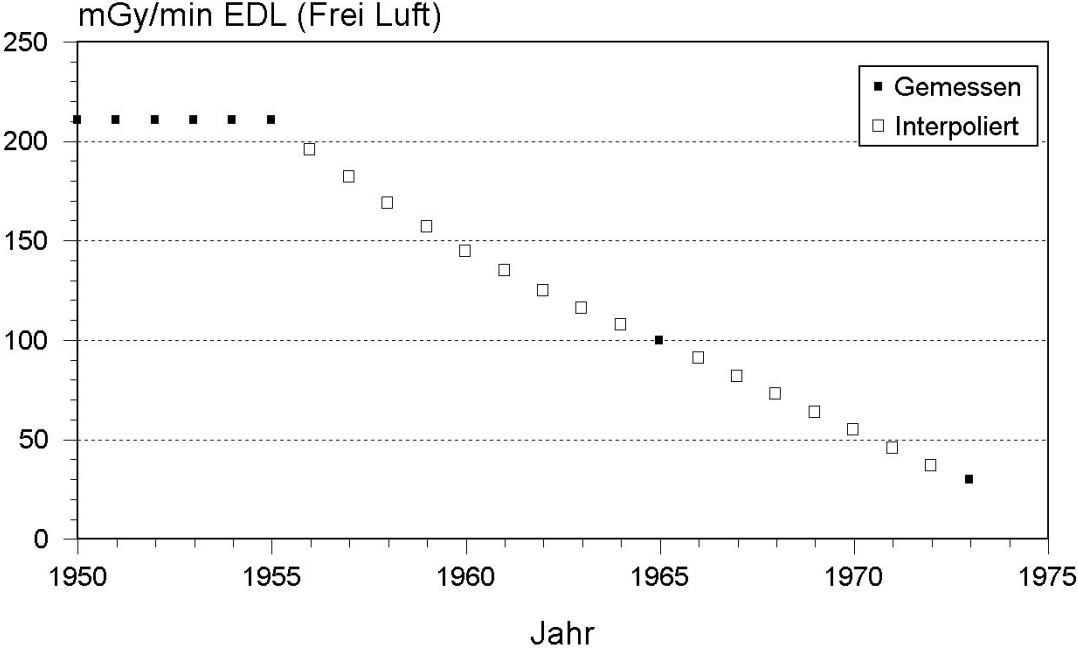


Abb. 2: Konversionsfaktor für Lunge (linke Skala und dünne Kurve) und biologisch äquivalente Organdosis der Lunge (rechte Skala und starke Kurve) in Abhängigkeit von dem Jahr der Untersuchung. Die schraffierte Fläche markiert den Zeitraum, in dem bis zum Jahr 1972 die Verdoppelungsdosis für Krebsinzidenz des Organs nach Thompson et al. [1994] überschritten wird, wenn eine Frau im Alter zwischen 20 und 39 Jahren jährlich durchleuchtet wurde.

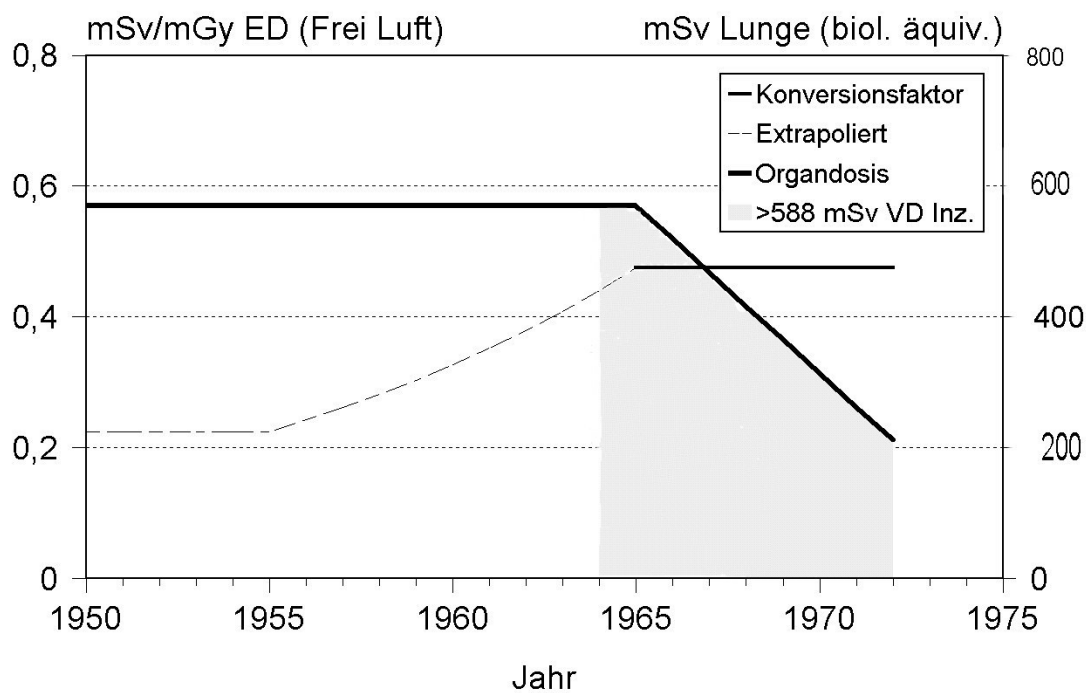


Abb. 3: Wie Abb. 2, jedoch für Mamma.

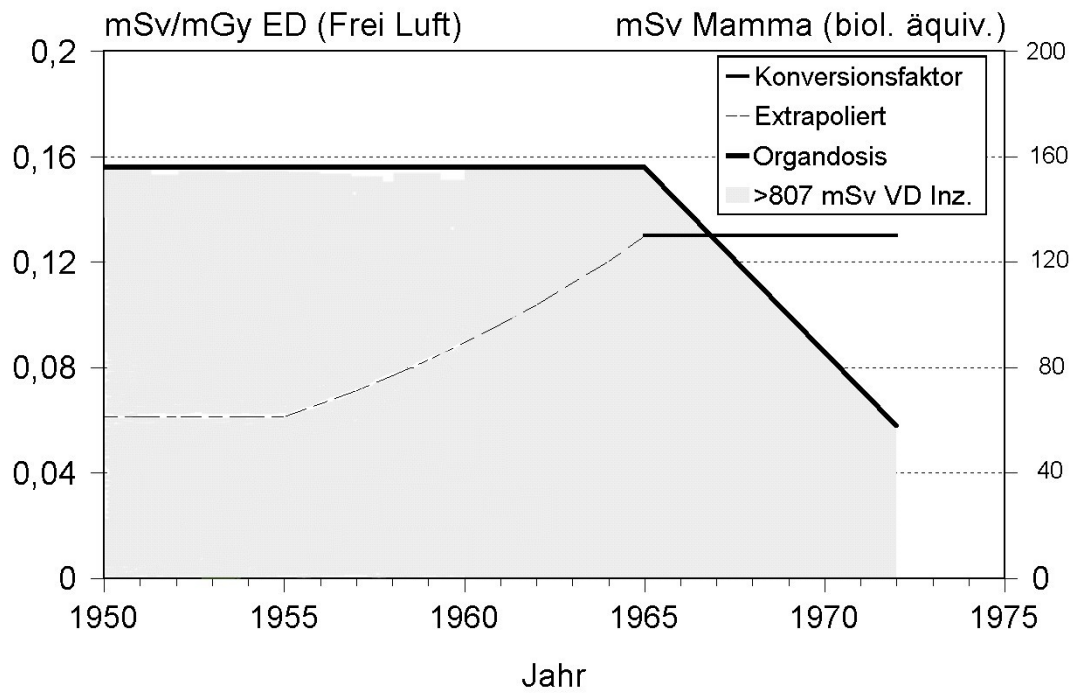


Abb. 4: Wie Abb. 2, jedoch für Ösophagus.

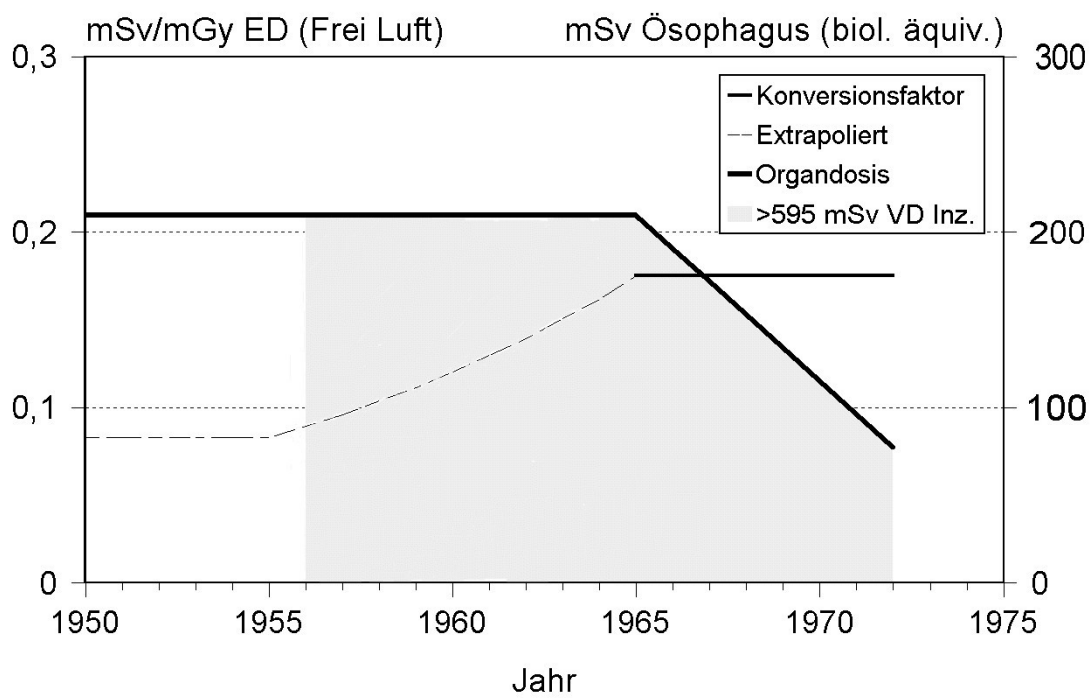


Abb. 5: Wie Abb. 2, jedoch mit der Verdoppelungsdosis für Tod am Krebs des Organs nach Shimizu et al. [1988] und BEIR V [1990].

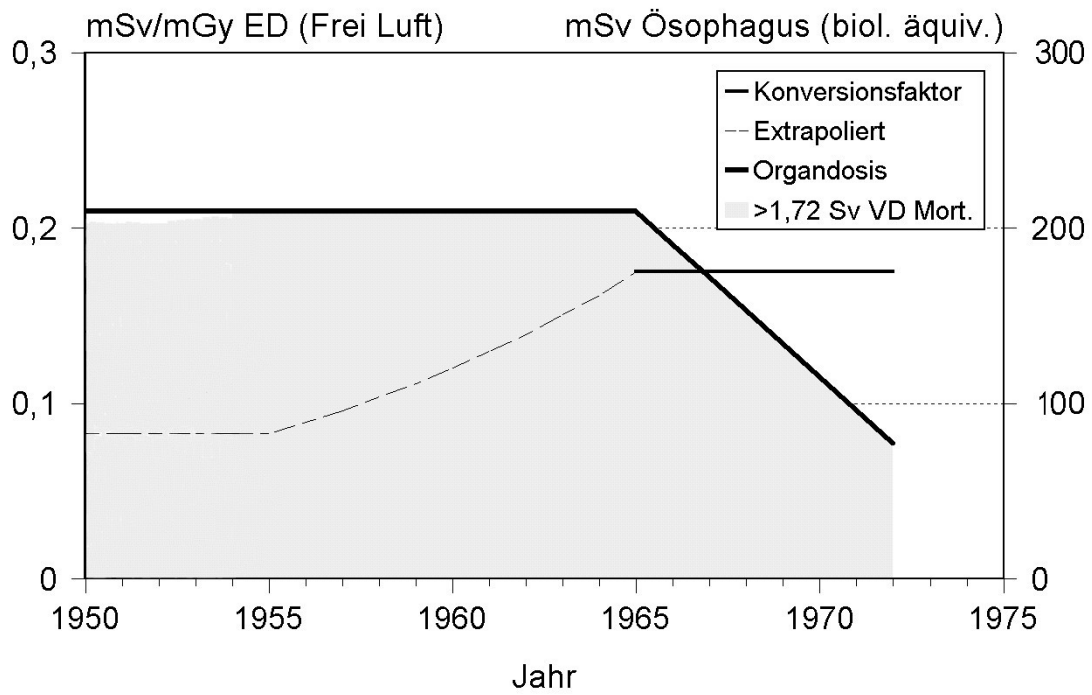


Abb. 6: Wie Abb. 2, jedoch für Tod an Leukämie im Jahr 1990 nach dem Berechnungsmodell von BEIR V [1990].

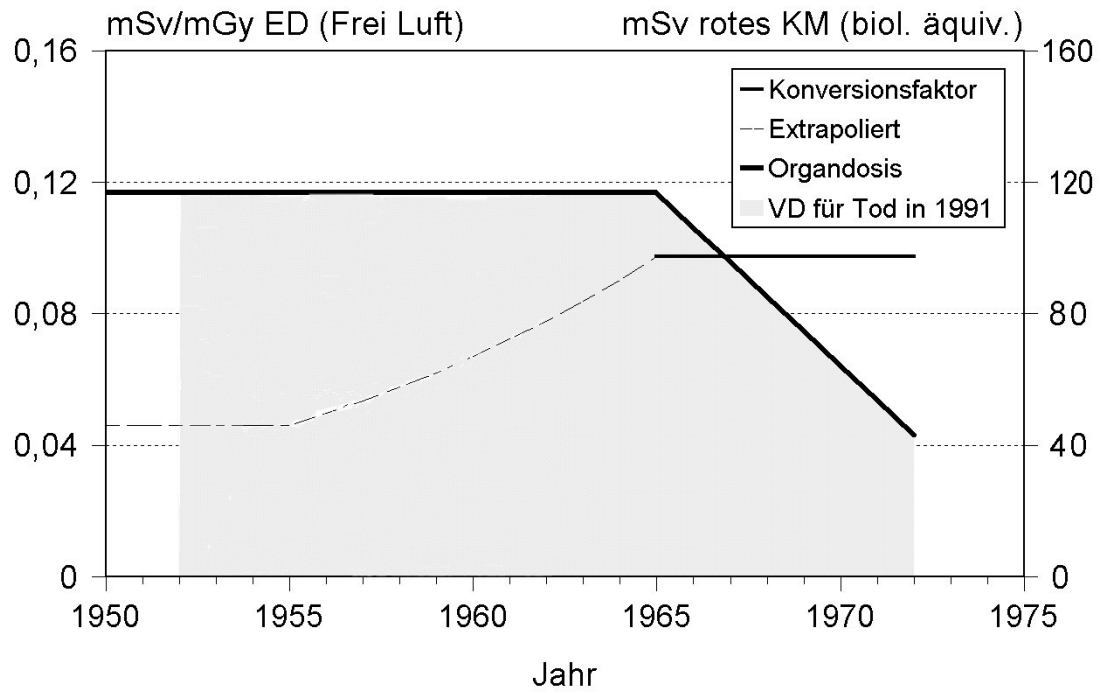


Abb. 7: Wie Abb. 2, jedoch für die Haut der Rumpfvorderseite.

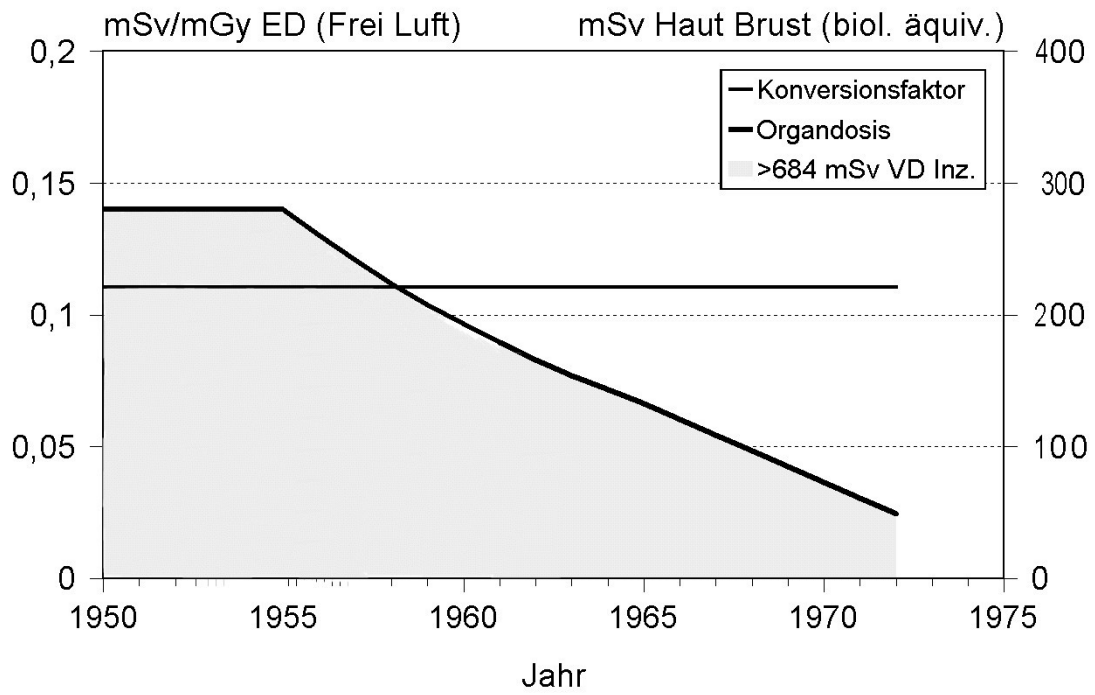


Abb. 8: Wie Abb. 2, jedoch für die Haut der Rumpfrückseite.

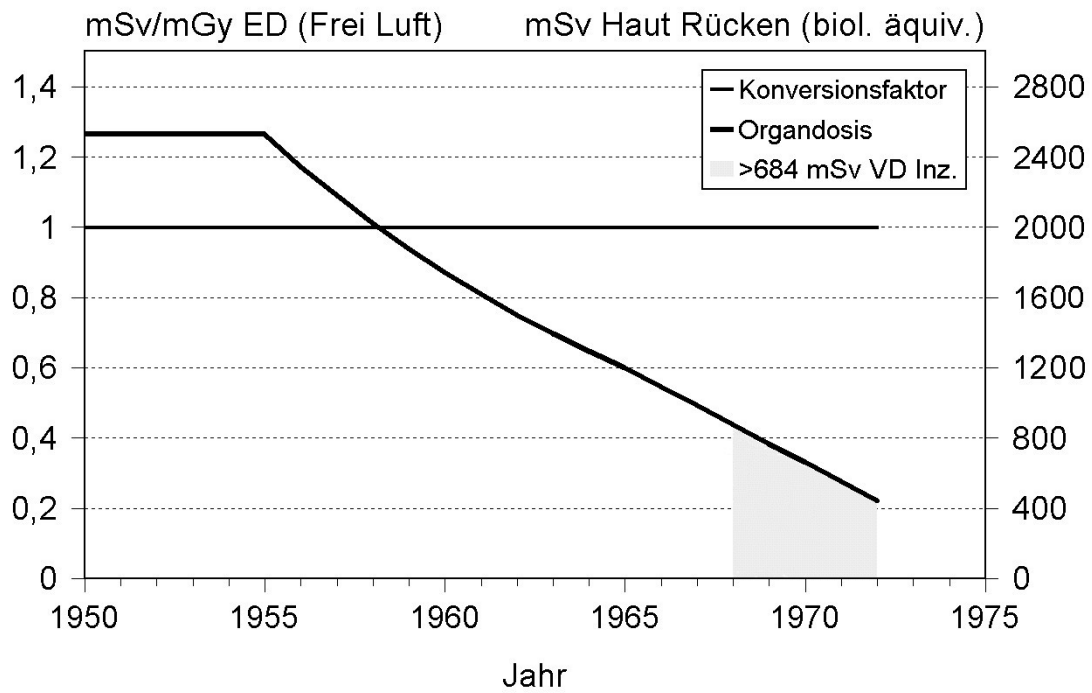


Abb. 9: Wie Abb. 2, jedoch für die Schilddrüse, wenn eine Frau ab einem Alter von 14 Jahren jährlich durchleuchtet wurde und die Schilddrüse im Feld lag.

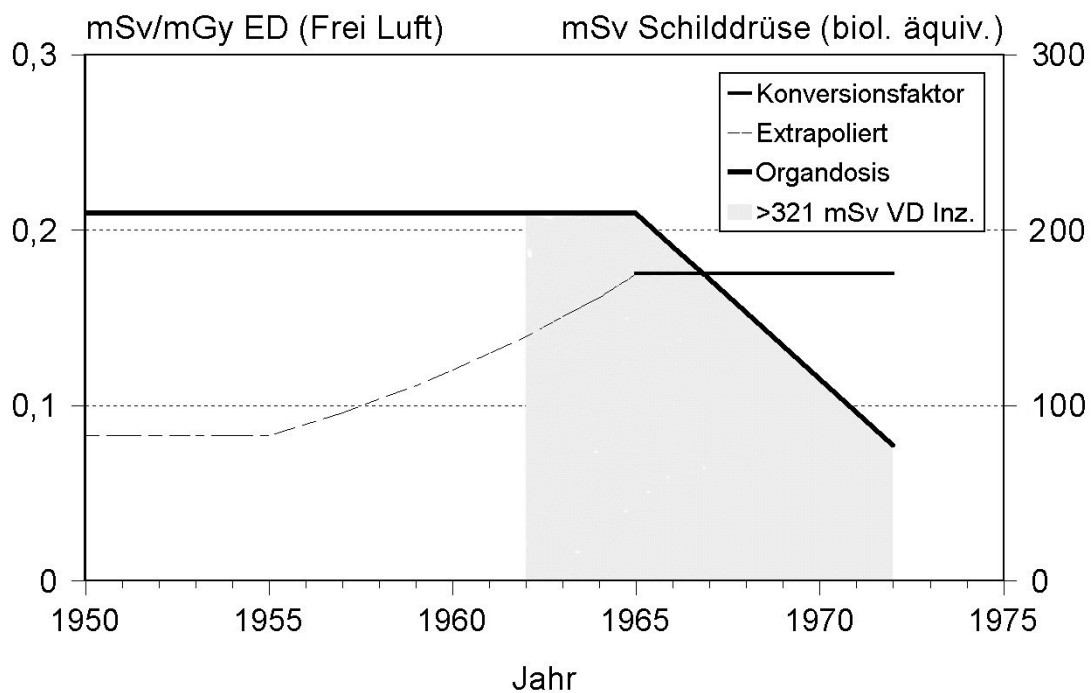
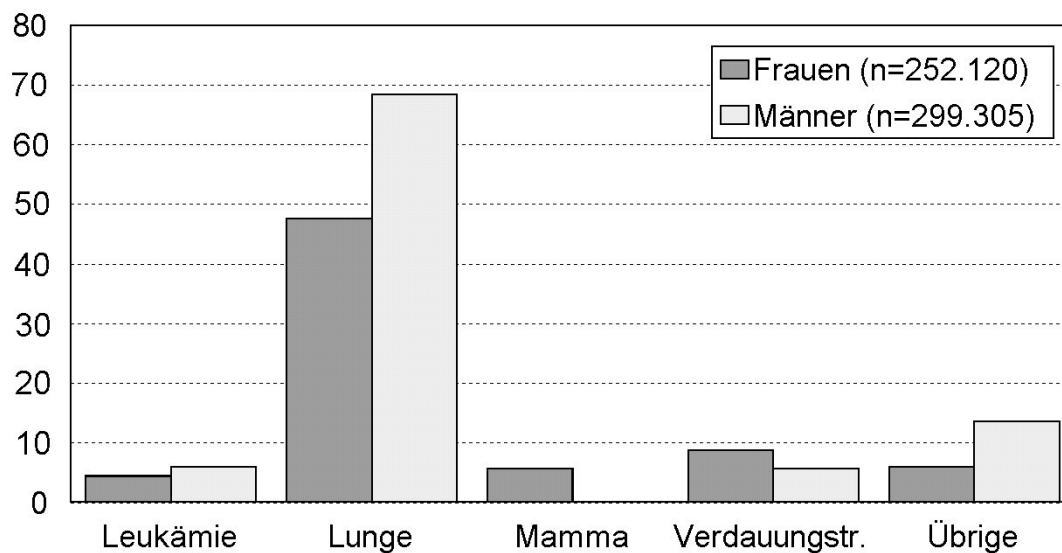


Abb. 10: Zusätzliche Krebstote durch die Röntgenreihenuntersuchungen in Hessen, berechnet mit Eintrittsdosisleistung frei Luft im Jahr 1973.

Zusätzliche Krebstote Röntgenreihenuntersuchungen Hessen 1973



RBW Gammastrahlung: 0,25

Altersspez. Verursachungswahrscheinlichkeit nach BEIR V