

Radiogener Hodenkrebs – Ein systematischer Review

Horst Kuni, Inge Schmitz-Feuerhake

Hodenkrebs gehört zu den selteneren Krebserkrankungen, tritt aber überwiegend in einem ungewöhnlich frühen Alter auf. In der Altersgruppe zwischen 25 und 45 Jahren ist er der häufigste bösartige Tumor bei Männern. Im Zusammenhang mit beruflicher Strahlenexposition ist er bei Flugpersonal aufgefallen sowie bei *Radarsoldaten*, also Personen, die in den frühen Jahren der BRD in militärischen Radaranlagen mit Röntgenbremsstrahlung und Radiumleuchtfarben in Kontakt kamen. Diese Zusammenstellung befasst sich mit den Befunden, die eine Strahleninduzierbarkeit bei chronischer Niedrigdosisbestrahlung begründen und ein hohes relatives Strahlenrisiko aufzeigen. Hodenkrebs muss deshalb in die Liste der Berufskrankheiten Nr. 2402 (Erkrankungen durch ionisierende Strahlen) aufgenommen werden. Bei der medizinischen Strahlendiagnostik ist angesichts der steigenden Anzahl der hoch belastenden CT-Untersuchungen im Unterbauchbereich und entsprechender anderer radiologischer Interventionen ein konsequenter Strahlenschutz zu fordern.

Schlüsselwörter: Hodenkrebs, Ionisierende Strahlung, Niedrigdosis, Strahlenexposition, Gonadenschutz, Genschaden, Berufskrankheit

keywords: Testicular cancer, ionizing radiation, low-dose-exposure, radiation hazard, gonad shielding, gene damage, occupational disease

Ionisierende Strahlen können praktisch in allen Geweben die Entwicklung eines bösartigen Tumors auslösen, in denen eine Zellteilung stattfindet.²⁵ Die Strahleninduzierbarkeit von Hodenkrebs zeigt sich bei Patienten, die wegen eines Hodenkarzinoms bestrahlt wurden: Nach einer Strahlentherapie tritt im kontralateralen Hoden ein Hodenkrebs häufiger auf als ohne diese Form der Behandlung.⁶

Dass dennoch die Hodentumore bis heute nicht als mögliche Folge einer Strahlenexposition angesehen werden, hängt damit zusammen, dass aus historischen Gründen immer noch die Atombombenüberlebenden von Hiroshima und Nagasaki als die ausschlaggebende Referenz für Strahlenschäden am Menschen angesehen werden. So beruht beispielsweise die Liste der Berufskrankheiten unter BK 2402 auf Angaben des Strahlenkomitees der Vereinten Nationen aus dem Jahr 2006.²⁶

Eine Revision dieser Bewertung ist erforderlich, denn es müsste ein Grund existieren, warum ausgerechnet im Hoden kein bösartiger Tumor durch eine Strahlenbelastung hervorgerufen werden sollte. Bei einer Bewertung der Studien muss deshalb auch darauf geachtet werden, welche Umstände den Nachweis einer Strahleninduzierbarkeit erschweren oder sogar unmöglich machen können.

Da Hodenkrebs typisch in einem Alter auftritt, in dem Männer berufstätig sind, wurden die meisten Studien zur Abklärung einer eventuellen beruflichen Verursachung durchgeführt. Eine deutsche Arbeitsgruppe hat bereits 2010 einen systematischen Review zur Frage der Berufsbedingtheit von Hodenkrebs durch Strahlung veröffentlicht.²⁹ Die Autorinnen und Autoren werteten 37 epidemiologischen Studien, darunter 18 Mortalitätsstudien, aus und sahen zusammenfassend keinen Zusammenhang.

Mortalitätsstudien halten wir für unsere Fragestellung nicht geeignet, da die meisten Erkrankungen an Hodenkrebs nicht zum Tode führen. In Deutschland betrug die Sterblichkeit zwischen 1955 und 1995 ungefähr einen Fall auf 100.000 Personen pro Jahr.¹

Mit zunehmender Heilungsrate beeinflussen immer häufiger Unterschiede in der Qualität der medizinischen Versorgung anstatt anderer Variablen aus Umwelt und Beruf das Ergebnis einer Mortalitätsstudie.

Inzwischen liegt eine neuere umfangreiche Inzidenzstudie vor. Sie rechtfertigt einen erneuten systematischen Review, insbesondere, weil mögliche Folgen einer diagnostischen Strahlenexposition im Unterbauch untersucht worden sind.¹³

Auf jeden Fall benötigt man genügend große Kollektive, um Aussagen über die Ursache von Hodenkrebs machen zu können. Wir befassen uns zur Abschätzung der Strahlenempfindlichkeit aus epidemiologischen Studien über die Inzidenz daher nur mit solchen, bei denen mindestens 10 Fälle von Hodenkrebs beobachtet worden waren.

Die Frage ist also, ob Hodenkrebs nach einer Strahlenexposition im Niedrigdosisbereich signifikant häufiger beobachtet werden kann.

Methode

In PubMed, EMBASE und dem Web of Knowledge wurde mit *testicular cancer* in Verbindung mit *occupational disease*, *radiation hazard*, *low-dose exposure*, *flight personnel* nach einschlägigen Studien gesucht sowie in der Literatur gefundener Publikationen. Ausgewertet wurden alle Morbiditätsstudien, die über mindestens zehn Fälle im Zusammenhang mit chronischer Niedrigdosisbestrahlung berichten.

Shu et al.²⁰ zitieren in der Einleitung fünf Arbeiten, in ihrem Literaturverzeichnis die Nummern 5–10, in denen sich eine „begrenzte und inkonsistente“ Evidenz für einen Zusammenhang zwischen einer Strahlenexposition und bösartigen Keimzelltumoren gezeigt habe. Diese Arbeiten haben sich aber jedoch nicht selbst mit diesem Thema befasst und werden deshalb hier nicht berücksichtigt.

Im Folgenden werden die Studien beschrieben und es wird begründet, warum sie in der Auswertung berücksichtigt oder ausgeschlossen wurden.

Hodenkrebs bei den japanischen Atombombenüberlebenden

Die Befunde zum Hodenkrebs bei den Atombombenopfern sind nur bedingt verwertbar, weil kriegsbedingt die Männer im Alter von 25–40 Jahren (mittl. Erkrankungsalter 37 Jahre), in denen der Hodenkrebs die häufigste Krebserkrankung darstellt, an der Front waren und nur ausnahmsweise in Hiroshima und Nagasaki lebten. Daher ist ein Selection-Bias nicht auszuschließen. Die Inzidenz der soliden Tumoren wurde erst ab 1958 erhoben.¹⁴ In den höheren Dosisklassen muss wegen der sehr großen Strahlensensibilität des Hodens mit einem zunehmenden konkurrierenden Zellkillingeffekt gerechnet werden.

Mit dem Auswertungsjahr 1998 wurde erstmals der Hodenkrebs mit 13 Fällen spezifisch aufgeführt, davon lagen 3 Fälle in der Gruppe unterhalb von 5 mSv Dosis vor.¹⁴ Wird die Inzidenz in der Gruppe oberhalb mit der unterhalb von 5 mSv verglichen, ergibt sich anhand der Personenjahre ein Verhältnis von 1,64, und mit der Hodendosis von 0,251 Sv ein relatives Strahlenrisiko RR = 6,5 pro Sv sowie eine Verdopplungsdosis von 182 mSv. Die Verdop-

plungsdosis ist die Strahlendosis, die zu einer Verdopplung der Inzidenz/Mortalität einer Erkrankung führt. Das Excess Relative Risk pro Sv errechnet sich zu $ERR/Sv=5,5$ ($ERR = RR-1$ das Excess Relative Risk ist die Größe, die proportional zur Dosis ansteigt, wenn ein linearer Dosis-Wirkungs-Zusammenhang ohne Schwelle angenommen wird). Die geringe Fallzahl führt zum Ausschluss aus der Bewertung.

Strahlenbedingter Hodenkrebs bei Flugpersonal

Piloten und anderes Flugpersonal in der kommerziellen Luftfahrt werden in Deutschland seit 2004 den beruflich strahlenexponierten Personen zugerechnet. In zahlreichen Mortalitäts- und einigen Inzidenzstudien hat sich gezeigt, dass bei ihnen Krebserkrankungen in Folge der kosmischen Strahlung auftreten.^{10,12} Nach Angaben des Bundesamts für Strahlenschutz liegt die Strahlenexposition bei ihnen überwiegend im Bereich 0,5 – 5 mSv pro Jahr.

In Tabelle 1 sind (alphabetisch nach Erstautoren geordnet) die Ergebnisse von Inzidenzstudien an Kollektiven aufgeführt, bei denen mindestens 10 Fälle von Hodenkrebs beobachtet wurden und die wir deshalb in unsere Auswertung aufgenommen haben. Die in Spalte 6 in Klammern angegebenen Werte für RR | SIR betreffen Vertrauensbereiche von 90 – 99 %.

Kollektiv	Expon. Männer Anzahl	Mittl. Beob. Dauer Jahre	Beob. Fälle Anzahl	Mittl. Dosis mSv	RR SIR Beob./ Erwartete Fälle	Bemerkungen
Studie 1 militär. Flugpersonal US Air Force crew ⁴	59.940	8,9	59		1,84 (1,19 – 2,86)	Kontrolle nicht exponierte Offiziere
Studie 2 militär. Flugpersonal US Navy pilots ⁷	22.417	5,8			≥2	3 Kontrollgruppen: nicht exponierte Offiziere
Studie 3 med. diagnost. Expos. ¹³			1.246		1,59 (1,05 – 2,42)	Fall-Kontroll-Studie
Studie 4 ziviles Flugpersonal Nordic airline ¹⁵	10.032	17			1,11 (0,69 – 1,70)	Kontrolle Bevölkerung
Studie 5 militär. Flugpersonal Brit. Marineluftwaffe ¹⁸		18	19		1,90 (1,04 – 3,48)	Fall-Kontroll-Studie innerhalb Royal Navy Personal
Studie 6 beruflich strahlenexp. Militärs Royal Navy Atom-U- Boot Personal u.a. ¹⁸		18	25		0,76 (0,26 – 2,22)	Fall-Kontroll-Studie s. Text Untergruppe c)
Studie 7 beruflich strahlenexp. Zivilpersonen Kanada ²²	191.333	14	75	11,5	1,44 (1,02 – 2,70)	Fall-Kontroll-Studie Untergruppe c) s. Text
Studie 8 beruflich strahlenexp. Zivilpersonen England ²⁴			17		1,62 (0,83 – 3,17)	Fall-Kontroll-Studie an 259 stationären Aufnahmen
Studie 9 beruflich strahlenexp. Lawrence Livermore Nat. Lab. (Atomwaffen) ²⁷	12.800	11,5	21		2,07 (1,29 – 3,17)	Vergleich Krebsregister Kalifornien
Studie 10 militär. Flugpersonal US Air force crew ²⁸		11	36		1,72 (1,03 – 2,88)	Fall-Kontroll-Studie Mittlere Flugdauer 2120 Stunden

Tab. 1: Inzidenz von Hodenkrebs nach beruflicher Exposition (Studien mit ≥ 10 aufgetretenen Fällen)

Auffällig wurde Hodenkrebs in Untersuchungen an Piloten und Flugbegleitern des Militärs. Diese fliegen in wesentlich größeren Höhen als im zivilen Flugbetrieb. Letztere liegen im Bereich 11 – 13 km; mit der Flughöhe steigt die Strahlenexposition überproportional an und erreicht im militärischen Bereich von 15 bis 20 km Flughöhe doppelt bis dreifache Werte.¹¹

Von den in den USA durchgeführten Untersuchungen wurden vier berücksichtigt (Studien 1, 2, 5 und 10 in Tabelle 1). Studie 1 zeigt 342 Krebserkrankungen beim Bordpersonal der U.S. Air Force, die in den Jahren 1975-1989 in Krankenhausunterlagen auffindbar waren.⁴ Neben Blasenkrebs fiel die Häufigkeit von Hodentumoren auf (59 Fälle). Als Vergleichsgruppe dienten Offiziere der Bodentruppe. Das mittlere Alter der fliegenden Männer bei Beginn der Studie betrug nur 27 Jahre und am Ende der Beobachtungszeit 36 Jahre. Die Häufigkeit von Hodenkrebs war signifikant um 84 % erhöht.

In Studie 2 wurden Krankenhausaufenthalte bei Piloten und Flugpersonal der U.S. Navy ausgewertet und mit drei nicht exponierten Offiziersgruppen verglichen.⁷ Alle Gruppen zeigten einen ausgeprägten Healthy-Worker-Effekt. Er wird bei gesundheitlich ausgelesenen Personen – wie z.B. Soldaten – beobachtet, die (ohne Exposition) eine geringere Sterblichkeit allgemein und eine geringere Rate an Krebserkrankungen haben als die Normalbevölkerung. Dadurch kann im Vergleich ein berufsbedingter Effekt verschleiert werden.

Das fliegende Personal hatte in Studie 2 die höchsten Krankheitsraten. Unter den Krebserkrankungen waren Hodentumore auffällig, nach Angabe der Autoren war die Inzidenz „mindestens doppelt so hoch wie in den Kontrollgruppen“ und das hochsignifikant.

Studie 5 über Piloten und Crew bei der Luftwaffe entstammt einer britischen Fall-Kontroll-Studie über Hodenkrebs bei Beschäftigten der Royal Navy.¹⁸ Beim fliegenden Personal waren 19 von insgesamt 110 Fällen von Hodenkrebs aufgetreten. Im Vergleich zu den anderen Berufsgruppen der Navy ergab sich eine signifikante Erhöhung um 1,90 (1,04 – 3,48).

In Studie 10 widmeten sich Yamane und Johnson²⁸ der Frage von Hodenkrebskrankungen bei Piloten der U.S. Air Force anhand von Krankenhausakten im Rahmen einer Fall-Kontroll-Studie. Als Kontrolle dienten wegen des ausgeprägten Healthy-Worker-Effekts Offiziere mit Blinddarmentzündung. Es ergab sich eine signifikante Erhöhung um 72 %, die sie auf die Strahlenexposition zurückführten. Dosisangaben liegen für das militärische Flugpersonal nicht vor. Die Autoren vermerken dazu, dass die Krebsrate mit der Flugdauer der Personen zunimmt (nicht signifikant).

Eine sehr umfangreiche Studie von Robbins et al.¹⁶ konnte trotz 100 gefundener Fälle von Hodenkrebs nicht berücksichtigt werden, da lediglich die SIR von Kampfpiloten (fighter pilots) im Vergleich zum übrigen Personal der untersuchten US-Streitkräfte aus Pennsylvania angegeben wurden. In der Vergleichsgruppe des übrigen Personals (Matched Officers) befanden sich aber nicht nur andere Piloten, sondern auch das gesamte sonstige fliegende Personal.

Die Studie 4 an zivilem Flugpersonal mit 17 beobachteten Hodenkrebsfällen hatte keinen signifikanten Befund.¹⁵

Die Autoren der Übersichtsarbeit zu Hodenkrebs²⁹ verweisen unter anderem auf die deutsche Studie an Flugpersonal, die von der gleichen Forschungsgruppe durchgeführt worden war. Sie ist als Mortalitätsstudie in unserem Zusammenhang nicht verwendbar. Bemerkenswert ist jedoch der Befund eines Healthy-Worker-Effekts bei Piloten zu etwa 50 %.⁵ Er wird aber bei der Diskussion über die Induktion von Hodenkrebs durch Exposition am Arbeitsplatz nicht problematisiert.

Weitere Befunde bei strahlenexponierten Personen

Die Aussagen zu Studie 6 entstammen der gleichen Untersuchung an Beschäftigten der Royal Navy wie die zu Studie 5.¹⁸ Während Piloten und Bordbegleiter nicht zum strahlenexponierten Personal gezählt wurden, benannten die Autoren 3 weitere Personengruppen als potenziell strahlenexponiert: a) Beschäftigte in Atom-U-Booten, b) Personen mit Dosimeter und c) als strahlenexponiert ausgewiesene Personen. Zu ersteren wird lediglich ausgesagt, dass kein Zusammenhang mit Expositionen oder Länge der Arbeitszeit gefunden wurde, quantitative Angaben fehlen. In der Gruppe mit Dosimetern wurden zwar 52 Fälle beobachtet. Da jedoch die angegebene mittlere Dosis in der exponierten Gruppe (0,44 mSv) geringer war als die in der Kontrolle (0,65 mSv), verzichten wir auf einen Eintrag in die Tabelle.

Studie 7 betrifft die Auswertung des kanadischen Nationalregisters für beruflich strahlenexponierte Personen²² mit einer mittleren Dosis für Männer von 11,5 mSv. Im Vergleich zur Bevölkerung zeigte sich bei 75 beobachteten Hodenkrebsfällen mit SIR=1,02 (0,83 – 1,23) kein Hinweis auf einen Strahleneffekt. Unter Umgehung des Healthy-Worker-Effekts resultierte die Trendanalyse jedoch in einem signifikanten Dosis-Wirkungs-Zusammenhang, aus der die Autoren eine Verdoppelungsdosis von 25 mSv ableiteten und ein ERR/Sv=38,5 (1,4 – 147,9). Aus dieser Angabe rekonstruieren wir das gefundene RR bei der gegebenen Dosis von 11,5 mSv und erhalten RR=1,44 (1,02 – 2,70).

Untersuchung Nr. 8 war eine Fall-Kontroll-Studie an 259 Klinikpatienten mit Hodenkrebs zur Ursachenforschung anhand verschiedener Kriterien, darunter der Beruf.²⁴ 17 Personen darunter hatten eine berufliche Strahlenexposition.

Studie 9 erfolgte an Beschäftigten des Lawrence Livermore National Laboratory, das sich der Entwicklung und Herstellung von Atomwaffen widmet. Sie ergab eine Verdoppelung des RR auch ohne Berücksichtigung eines Healthy-Worker-Effekts.²⁷

In der Tabelle 1 sind alle Inzidenzstudien aufgeführt, die auch von Yousif et al.²⁹ in ihrer Übersicht berücksichtigt werden, sofern sie mindestens 10 Hodenkrebsfälle aufweisen, bis auf eine Ausnahme: Eine Untersuchung an dänischen Balkankriegsveteranen mit 24 Hodenkrebsfällen, bei denen potenziell eine Kontamination durch abgereichertes Uran DU (Depleted Uranium) vorgelegen haben kann.²³ Dieses Material wird unter anderem in panzerbrechenden Waffen benutzt. Ohne Zweifel kann es dadurch zu nennenswerten Strahlenexpositionen und Gesundheitsschäden gekommen sein.¹⁹ Die Autoren halten das allerdings nicht für wahrscheinlich. Sie führen auch keinerlei Hinweise für eine Inkorporation von Radionukliden bei der untersuchten Kohorte an. Wir haben die Studie daher als nicht aussagefähig angesehen und nicht berücksichtigt.

Die Fall-Kontroll-Studie (Studie 3) nach medizinisch-diagnostischer Strahlenexposition ist besonders wichtig, weil es sich nicht um eine berufliche Exposition handelt, sondern um die Auswirkung einer diagnostischen Radiologie.¹³ Eine Abschätzung der Dosen war beim Design der Studie nicht möglich, zumal es keine begleitende Erhebung von Strahlenschutzmaßnahmen gab.

Ergebnisse

Latenzzeiten zwischen Exposition und Diagnose

Bei anderen soliden Tumoren als Hodenkrebs werden vornehmlich lange Latenzzeiten beobachtet. Zur Gewinnung von Dosis-Wirkungs-Beziehungen aus Mortalitäts- oder Inzidenzraten in Dosisklassen werden daher Latenzzeiten (Lags) für die Manifestation der Strahleneffekte nach dem Zeitpunkt der Bestrahlung bis zu fünf oder zehn Jahren oder länger angesetzt, in denen Krebsfälle nicht einer Strahlenbelastung zugeordnet werden. Die Latenzzeiten bei Hodenkrebs nach einer Strahlenexposition sind aber größtenteils kürzer. Erkrankungsfälle sind häufig schon unmittelbar nach der Bestrahlung zu finden. Nach einem Häufigkeitsminimum treten ab dem zweiten Jahr viele weitere auf. Die unmittelbar nach der Strahlentherapie gefundenen Tumore werden als synchrone (also bereits vor der Strahlenbelastung existent), die danach als metachrone Tumore (also möglicherweise durch die Strahlentherapie induziert) interpretiert.⁹

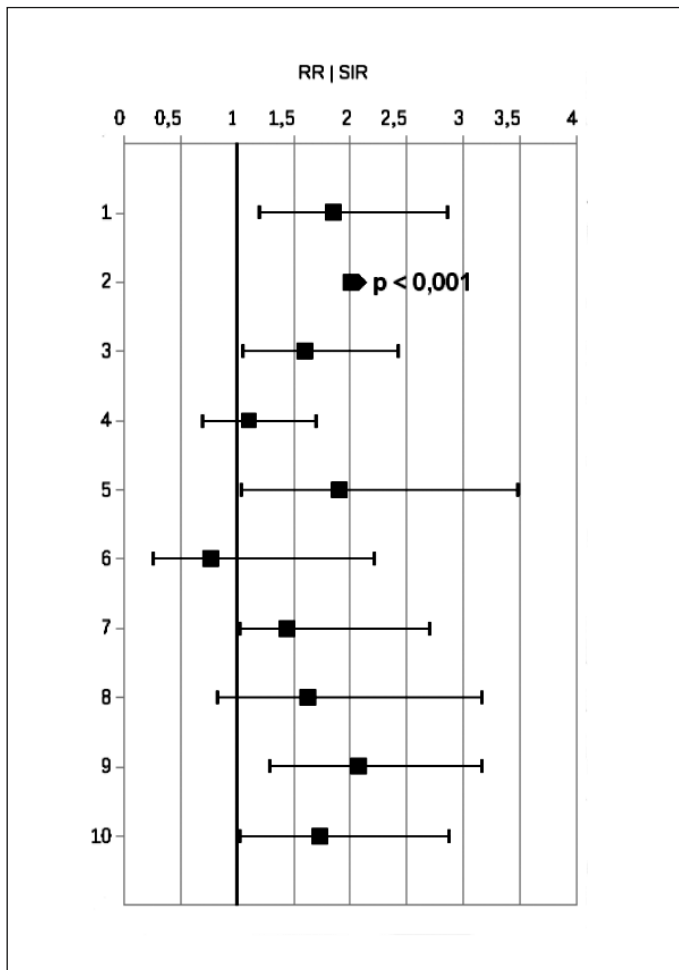


Abb. 1: Synopse des relative risk RR | der standard incidence rate SIR der ausgewerteten Studien (Nummerierung s. Tabelle 1)

Eine jüngere sehr umfangreiche und damit statistisch starke Morbiditätsanalyse belegt ebenfalls, dass ohne Latenzzeit im kontralateralen Hoden ein Tumor auftreten kann.¹⁷ Über die angewandte Therapie, insbesondere eine Strahlentherapie der regionalen Lymphknoten oder gar des kontralateralen Hodens lagen keine Informationen vor, sodass bei den beobachteten Hodenkrebsfällen keine für eine Strahlenfolge spezifische Latenzzeit abgeleitet werden kann. Sie unterstreicht aber, dass bei Verwendung einer Latenzzeit von mehr als zwei Jahren ein großer Anteil strahleninduzierter Hodenkrebs ausgeblendet wird.

Dosis-Wirkungs-Zusammenhänge

Die Abbildung 1 gibt einen Überblick über die Resultate der diskutierten Studien von Tabelle 1. Strahleninduzierter Krebs wird als stochastischer Prozess aufgefasst, das heißt auch für Hodenkrebs muss ein Effekt im niedrigen Dosisbereich prinzipiell erwartet werden. Wir haben zehn Studien in der Literatur gefunden, die geeignet sind, um diese Hypothese zu überprüfen. In der Abbildung stellen sich die ermittelten Erhöhungen als überwiegend signifikant dar. Studien mit Ergebnissen, die einen Effekt widerlegen könnten, haben wir nicht gefunden.

Bis auf eine Studie prüften die betrachteten Untersuchungen Folgen einer beruflichen Exposition. Bei ihnen und auch bei der Studie 3 erfolgte die Exposition im Niedrigdosisbereich, wenn auch die wenigsten Kohorten (Studien 6 – 9) dosimetrisch überwacht wurden. Leider fehlen bis auf eine Ausnahme jegliche Dosisangaben. Aus der kanadischen Untersuchung (Studie 7) ergibt sich aus der mittleren Dosis der Beschäftigten eine Verdopplungsdosis von 25 mSv mit einem Vertrauensbereich von 7 – 50 mSv entsprechend dem ermittelten ERR/Sv=38,3.

Insgesamt ergaben die sieben Studien mit signifikantem Ergebnis strahlenbedingte Erhöhungen von etwa 50–100 %. Es ist davon auszugehen, dass die Verdopplungsdosis für den Effekt unterhalb von 100 mSv liegt.

Diskussion

Dieser Review stützt sich ausschließlich auf Morbiditätsstudien, obwohl zu dieser Fragestellung zahlreiche Mortalitätsstudien publiziert wurden. In der Literaturübersicht von Yousif et al.²⁹ sind es 18, unter denen immerhin eine signifikante Erhöhung für Hodenkrebs gefunden wurde (3 Fälle), und zwar bei britischen Nukleararbeitern mit nachgewiesener Inkorporation von Radioaktivität.²

Auch bei einer Einordnung von Hodenkrebs als Berufskrankheit ist nicht die Sterblichkeit, sondern die Wahrscheinlichkeit einer Erkrankung durch den Beruf gefragt.

Die Fallkontrollstudie (Studie 3) nach medizinisch-diagnostischer Strahlenexposition zitiert hinsichtlich der möglichen Hodendosis eine britische Erhebung, nach der bei Kindern lediglich 25 % adäquat durch Abschirmung geschützt worden seien.³ Ein Rückgriff auf die Originalarbeit ergibt, dass die zitierte Größe einen Durchschnitt für beide Geschlechter darstellt und vor allem die Ovarien überwiegend ungenau abgeschirmt worden waren. Beim Hoden lag der Wert um 50 %.

Eine neuere Studie über Abschirmmaßnahmen ist auf pädiatrische Untersuchungen beschränkt und differenziert nicht nach Geschlecht.²¹ Ein systematischer internationaler Review ergab für den Hoden ebenfalls Werte um 50 %.⁸ Eine Untersuchung aus Deutschland war nicht enthalten. Auch wir haben keine gefunden. Zur Strahlenempfindlichkeit des Hodens in Bezug auf stochastische Effekte können genauere quantitative Ergebnisse aus zukünftigen Ergebnissen von international unternommenen umfangreichen Studien in Berufskohorten erwartet werden.

Schlussfolgerung

Hodenkrebs muss in der Berufskrankheitenverordnung den Geweben mit hoher relativer Empfindlichkeit auch für stochastische Strahleneffekte zugeordnet werden. Die Verdoppelungsdosis für

dieses Organ muss bei niedriger Dosis unterhalb von 100 mSv angenommen werden. Das unterstreicht die große Bedeutung einer Abschirmung des Hodens bei radiologischen Untersuchungen im Beckenbereich.

Autoren:

Prof. Dr. med. Horst Kuni
 Universitätsprofessor i.R. Arzt für Nuklearmedizin
 www.kuni.org/h
 Auf den Wüsten 5
 35043 Marburg
 E-Mail: horst@kuni.org

Prof. Dr. rer. nat. Inge Schmitz-Feuerhake
 Grenzstr. 20
 30627 Hannover
 E-Mail: ingesf@uni-bremen.de

Literatur

- 1 Becker N, Wahrendorf J: Krebsatlas der Bundesrepublik Deutschland 1981-1990. 3. Aufl. 1998; Springer, Berlin, Heidelberg, New York
- 2 Carpenter LM, Higgins CD, Douglas AJ, Maconochie NE, Omar RZ, Fraser P, Beral V, Smith PG: Cancer mortality in relation to monitoring for radionuclide exposure in three UK nuclear industry workforces. *Brit J Cancer* 1998; 78: 1224-1232
- 3 Fawcett SL, Barter SJ: The use of gonad shielding in paediatric and pelvic radio- graphs. *Br J Radiol* 2009; 82(977): 363-70. <https://doi.org/10.1259/bjr/86609718> Zugegriffen: 12. April 2021
- 4 Grayson JK, Lyons TJ: Cancer incidence in United States Air Force aircrew, 1975-89. *Aviat Space Environ Med* 1999; 67: 101-104
- 5 Hammer GP, Blettner M, Langner I, Zeeb H: Cosmic radiation and mortality from cancer among male German airline pilots: extended cohort follow-up. *Eur J Epidemiol* 2012; 27: 419-429
- 6 Hay JH, Duncan W, Kerr GR: Subsequent malignancies in patients irradiated for testicular tumours. *Brit J Radiol* 1984; 57: 597-602
- 7 Hoiberg A, Blood C: Age-specific morbidity among Navy pilots. *Aviat Space Environ Med* 1983; 54: 912-918
- 8 Karami V, Zabihzadeh M, Shams N, Saki Malehi A: Gonad shielding during pelvic radiography: A systematic review and meta-analysis. *Arch Iran Med* 2017; 20(2): 113-123
- 9 Kuni H: Strahleninduzierter Hodenkrebs, Vortrag auf dem 4. Internationalen Kongress der Gesellschaft für Strahlenschutz: Strahlenschutz nach der Jahrtausendwende, Bremen 9.06.2000. www.kuni.org/h/all-doc/Strahlenbelastung_und_Hodenkrebs.pdf.
- 10 McNeely E, Mordukhovich I, Staffa S, Tidemann S, Gale S, Coull B: Cancer prevalence among flight attendants compared to the general population. *Environ Health* 2018; 17:49 <https://doi.org/10.1186/s12940-018-0396-8>
- 11 Menzel HG, O` Sullivan D, Beck P, Bartlett D: European measurements of aircraft crew exposure to cosmic radiation. *Health Phys* 2000; 79: 563-567
- 12 Miura K, Olsen CM, Rea S, Marsden J, Green AC: Do airline pilots and cabin crew have raised risks of melanoma and other skin cancers? *Br J Dermatol* 2019; 181: 55-64
- 13 Nead KT, Mitra N, Weathers B, Pyle L, Emechebe N, Pucci DA, Jacobs LA, Vaughn DJ, Nathanson KL, Kanetsky PA: Lower abdominal and pelvic radiation and testicular germ cell tumor risk. *PLoS ONE* 2020 ; (11):e0239321 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239321>. Zugegriffen: 12. April 2021
- 14 Preston DL, Ron E, Tokuoka S, Funamoto S, Nishi N, Soda M, Mabuchi K, Kodama K: Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958-1998. *Radiat Res* 2007; 168: 1-64
- 15 Pukkala E, Aspholm R, Auvinen A, Eliasch H, Gundestrup M, Haldorsen T, Hammar N, Hrafnkelson J, Kyrrönen P, Linnarsjö A, Rafnsson V, Storm H, Tveten U: Incidence of cancer among Nordic airline pilots over five decades: occupational cohort study. *Brit Med J* 2002; 325: 1-5
- 16 Robbins AS et al.: Malignancy in U.S. Air Force fighter pilots and other officers, 1986-2017: A retrospective cohort study. *PLoS ONE* 2020 ; (9):e0239437 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239437>. Zugegriffen: 12. April 2021
- 17 Rusner C, Streller B, Stegmaier C, Troschi P, Kuss O, McGlynn KA, Trabert B, Stang A: Risk of second primary cancers after testicular cancer in East and West Germany: a focus on contralateral testicular cancers. *Asian J Andrology* 2014; 16: 285-289
- 18 Ryder SJ, Crawford PL, Pethybridge RJ: Is testicular cancer an occupational disease? A case control study of Royal Naval personnel. *J R Nav Serv* 1997; 83: 130-146
- 19 Schröder H, Heimers A, Frentzel-Beyme R, Schott A, Hoffmann W: Chromosome aberration analysis in peripheral lymphocytes of Gulf war and Balkans war veterans. *Radiat Protection Dos* 2003; 103: 211-219
- 20 Shu XO, Nesbit ME, Buckley JE, Krailo MD, Robison LL: An exploratory analysis of risk factors for childhood malignant germ-cell tumors: report from the Childrens Cancer Group (Canada, United States). *Cancer Causes and Control* 1995; 6: 187-198
- 21 Sikand M, Stinchcombe S, Livesley PJ: Study on the use of gonadal protection shields during paediatric pelvic X-rays. *Ann R Coll Surg Engl* 2003 85(6): 422-425
- 22 Sont WN, Zielinski JM, Ashmore JP, Jiang H, Krewski D, Fair ME, Band PR, Létourneau EG: First analysis of cancer incidence and occupational radiation exposure based on the National Dose Registry of Canada. *Am J Epidemiol* 2001; 153: 309-318
- 23 Storm HH, Jorgensen HO, Kejs AM, Engholm G: Depleted uranium and cancer in Danish Balkan veterans deployed 1992-2001. *Eur J Cancer* 2006; 42 2355-2358
- 24 Swerdlow AJ, Douglas AJ, Huttly SRA, Smith PG: Cancer of the testis, socioeconomic status, and occupation. *Brit J Ind Med* 1991; 48: 670-674
- 25 UNSCEAR: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Sources, effects and risks of ionizing radiation. UNSCEAR 1988 Report to the General Assembly, United Nation; New York
- 26 UNSCEAR: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2006, Report to the General Assembly with Scientific Annexes Vol I United Nations 2008; New York
- 27 Whorton MD, Moore DN, Seward JP, Noonan KA, Mendelsohn ML: Cancer incidence rates among Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) employees: 1974-1997. *Am J Ind Med* 2004; 45: 24-33
- 28 Yamane GK, Johnson R: Testicular carcinoma in U.S. Air Force aviators: a case-control study. *Aviation Space Envir Med* 2004; 74: 846-850
- 29 Yousif L, Blettner M, Hammer GP, Zeeb H: Testicular cancer risk associated with occupational radiation exposure: a systematic literature review. *J Radiol Prot* 2010; 30: 389-406