



Ausarbeitung


Gesundheitliche Auswirkungen der Atomwaffentests in Semipalatinsk




Gesundheitliche Auswirkungen der Atomwaffentests in Semipalatinsk


Aktenzeichen:

Abschluss der Arbeit:

Fachbereich:



WD 9 - 3000 - 091/13

10. März 2014

WD 9: Gesundheit, Familie, Senioren, Frauen und Jugend


Inhaltsverzeichnis

1.	Allgemeines zum Atomwaffentestgebiet Semipalatinsk	4
2.	Allgemeines zu den gesundheitlichen Auswirkungen ionisierender Strahlung	4
2.1.	Deterministische Strahlenwirkungen	5
2.2.	Stochastische Strahlenwirkungen	6
3.	Nachweis gesundheitlicher Auswirkungen ionisierender Strahlung	6
4.	Datengrundlagen für die Untersuchung gesundheitlicher Auswirkungen der Atomwaffentests in Semipalatinsk	7
5.	Studien zu den gesundheitlichen Auswirkungen der Atomwaffenversuche in Semipalatinsk auf exponierte Personen	8
5.1.	Solide Tumore	9
5.2.	Schilddrüsenkrebs	11
5.3.	Speiseröhrenkrebs	12
5.4.	Herz-Kreislaufkrankungen	13
6.	Studien zu den gesundheitlichen Auswirkungen der Atomwaffentests in Semipalatinsk auf die Folgegenerationen	13
6.1.	Geschlechterverhältnis	14
6.2.	Häufigkeit von Zwillingsgeburten	14
7.	Zusammenfassung	15
8.	Literaturliste/Anlagenverzeichnis	16

1. Allgemeines zum Atomwaffentestgebiet Semipalatinsk

In den Jahren 1949 bis 1991 testete die ehemalige Sowjetunion zu militärischen Zwecken nukleare Bomben auf dem in der heutigen Republik Kasachstan gelegenen Atomwaffentestgebiet Semipalatinsk (Semipalatinsk test site – STS). Bis zum Inkrafttreten des sog. „Vertrages über das Verbot von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre, im Weltraum und unter Wasser“ (limited test ban) am 10. Oktober 1963 wurden diese Tests oberirdisch durchgeführt; dies betraf 111 der insgesamt 456 durchgeführten Tests. Seit diesem Zeitpunkt fanden Atomwaffentests auf dem STS ausschließlich unterirdisch statt.¹

Die oberirdischen Tests verursachten über das Testgelände hinaus eine Strahlenkontamination, die u.a. auf den radioaktiven Niederschlag (sog. fall out) zurückzuführen ist. Im Gegensatz dazu hatten die unterirdisch durchgeführten Tests nur im Ausnahmefall weitere (oberirdische) Umweltkontaminationen außerhalb des Testgeländes zur Folge.² Die Bevölkerung der an das STS angrenzenden Gebiete war der atomwaffentestbedingten Strahlung i.d.R. ohne Schutzmaßnahmen ausgesetzt, wobei die individuelle Strahlenbelastung aufgrund verschiedener Faktoren z.T. stark voneinander abwich. So wurde z.B. ein Großteil der Bevölkerung während der Testdurchführung evakuiert, während andere Personen zum Verbleib in den Dörfern gezwungen wurden und somit der unmittelbar freigesetzten ionisierenden Strahlung in weit höherem Maß ausgesetzt waren. Darüber hinaus waren die Bewohner der Region um das Testgebiet der sog. internen Strahlung ausgesetzt, die durch den Verzehr kontaminierter Nahrungsmittel sowie durch Inhalation verursacht wird.

2. Allgemeines zu den gesundheitlichen Auswirkungen ionisierender Strahlung

Die Wirkung von Atomwaffen beruht auf kernphysikalischen Reaktionen, durch die eine große Menge Energie freigesetzt wird, u.a. in Form von ionisierender Strahlung. Diese kann zelluläre Bestandteile – insbesondere die zelluläre Erbsubstanz – verändern oder zerstören und damit zu gesundheitlichen Schäden führen. Aufgrund von im menschlichen Körper ablaufenden Abwehr- und Reparaturprozessen, mit deren Hilfe die durch die Strahlung geschädigten Zellen bis zu einem gewissen Ausmaß repariert bzw. ersetzt werden, hat ionisierende Strahlung trotz ihrer direkten zellschädigenden Wirkung nicht automatisch einen Gesundheitsschaden zur Folge.³ Ob und inwieweit ionisierende Strahlung tatsächlich eine gesundheitsschädigende Wirkung entfaltet, ist auch abhängig von der individuellen Strahlenempfindlichkeit, die durch die individuelle genetische Ausstattung des Einzelnen bestimmt wird.⁴ Darüber hinaus wird - kontrovers - diskutiert, ob und inwieweit geringe Mengen ionisierender Strahlung (unter 200 mSv) positive Auswirkungen

1 Vergleiche hierzu z.B. die Informationen des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS), im Internet abrufbar unter http://www.bfs.de/de/bfs/forschung/dm_forschung/semi_nuc.html/printversion sowie Grosche (2002), S. 53, beigelegt als **Anlage 1**.

2 Vergleiche hierzu http://www.bfs.de/de/bfs/forschung/dm_forschung/semi_nuc.html/printversion sowie Grosche (2002), S. 53.

3 Vergleiche hierzu <http://www.bfs.de/de/ion/einfuehrung/einfuehrung.html>.

4 Vergleiche hierzu <http://www.bfs.de/de/ion/wirkungen/strahlenempfindlichkeit.html>.

(= Hormesis) auf den menschlichen Körper haben. Als mögliche positive Auswirkungen werden dabei z.B. die Beschleunigung von Wachstums- oder Entwicklungsprozessen, die Erhöhung der zellulären Überlebensrate durch Anregung von Reparaturvorgängen oder eine geringere Empfindlichkeit von Zellen gegenüber hohen Strahlendosen nach Vorbestrahlung mit niedrigen Dosen in Betracht gezogen.⁵

Im Hinblick auf mögliche gesundheitliche Schäden werden deterministische und stochastische Strahlenwirkungen unterschieden.⁶

2.1. Deterministische Strahlenwirkungen

Deterministische bzw. akute Strahlenwirkungen können direkt auf die Strahlenexposition zurückgeführt werden. Sie treten sofort oder innerhalb weniger Wochen nach der Strahlenexposition auf, wenn bestimmte hohe Dosiswellenwerte überschritten werden. Durch die massive Abtötung von Zellen in einem Organ- oder Gewebesystem kommt es zu einer Funktionseinbuße des betroffenen Organs oder Gewebes, wobei mit zunehmender Dosis die Schwere des Schadens steigt und sich die Zeit bis zum Schadenseintritt verkürzt. Insbesondere die Blutbildungsorgane, die Schleimhäute des Magen-Darm-Traktes und der Luftwege, Keimdrüsen und embryonales Gewebe sind strahlenempfindlich. Für die verschiedenen deterministischen Strahlenwirkungen gibt es unterschiedlich hohe Dosiswellenwerte; für die meisten akuten Strahlenschäden liegt der entsprechende Wert bei über 500 Millisievert (mSv).⁸ Zu den möglichen deterministischen Strahlenschäden zählen u.a. Hautrötungen, Haarausfall, Beeinträchtigung der Fruchtbarkeit und Blutarmut. Ab einer Exposition von circa 4 Gray (Gy)⁹ kann beim Menschen der (strahlenbedingte) Tod eintreten.¹⁰

5 Vergleiche hierzu <http://www.bfs.de/de/ion/wirkungen/hormesis.htm>.

6 Vergleiche hierzu <http://www.bfs.de/de/ion/einfuehrung/einfuehrung.html>.

7 Sievert (Einheitenzeichen: Sv) ist die Maßeinheit der Dosis ionisierender Strahlung, die zur Bestimmung der Strahlenbelastung biologischer Organismen dient und Anwendung bei der Analyse des Strahlenrisikos findet. Die Angabe erfolgt häufig in Millisievert (mSv). Die Dosis ionisierender Strahlung errechnet sich aus der Multiplikation der Strahlendosis in Gray mit dem Gewichtungsfaktor der jeweiligen Strahlungsart. Dieser unterscheidet sich für die verschiedenen Strahlungsarten in Abhängigkeit davon wie stark diese jeweils ionisieren. Bei Röntgen-, Gamma- und Betastrahlung liegt der Faktor bei 1. Vergleiche hierzu <http://www.weltderphysik.de/-gebiet/leben/schutz-und-reparatur-des-lebens/strahlungsauswirkung/>.

8 Nach Angaben des BFS können bei akuter Exposition des gesamten Körpers bereits bei Werten zwischen 0,1 und 0,5 Sv kurzzeitige, nur vom Arzt feststellbare Veränderungen des Blutbildes auftreten. Das BFS geht darüber hinaus davon aus, dass für teratogene Schäden (Fehlbildungen des Embryo bzw. des Kindes nach Bestrahlung der Mutter) ein Schwellenwert von etwa 100 mSv angenommen werden muss. Vergleiche hierzu <http://www.bfs.de/de/ion/einfuehrung/einfuehrung.html>.

9 Gray (Einheitenzeichen: Gy) ist die Maßeinheit der Energiedosis; 1 Gray entspricht der Energie von 1 Joule, die von einem 1 Kilogramm Körpergewicht aufgenommen wird. Vergleiche Fn. 7.

10 Vergleiche hierzu <http://www.bfs.de/de/ion/einfuehrung/einfuehrung.html> sowie http://www.bfs.de/de/ion/-wirkungen/akut_strahlenschaeden.html.

2.2. Stochastische Strahlenwirkungen

Stochastische Strahlenwirkungen beruhen im Gegensatz zu den deterministischen Strahlenschäden auf Vorgängen zufälliger Art, d.h., sie treten in Abhängigkeit von der Dosis mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit auf. Sie können nicht direkt auf die Strahlenexposition zurückgeführt werden. Sind strahlengeschädigte Zellen trotz fehlender bzw. nicht vollständig erfolgter Reparatur lebens- und teilungsfähig geblieben, kann die strahlenbedingte Veränderung an nachfolgende Zellgenerationen weitergegeben werden. Sofern es sich bei den veränderten Zellen um Körperzellen handelt, können dadurch bösartige Neubildungen wie Krebs (Tumoren) und Leukämie bei der exponierten Person hervorgerufen werden. Inwieweit dies auch auf Herz-Kreislaufkrankungen und Katarakte der Augen zutrifft, wird derzeit in der Fachwelt untersucht und diskutiert. Die Zeit zwischen der Strahlenexposition und dem Auftreten der Erkrankungen (sog. Latenzzeit) kann dabei Jahre bis Jahrzehnte betragen. Wurden durch die Strahlung hingegen Keimzellen verändert, kann dies zu Veränderungen der Erbanlagen mit möglichen gesundheitlichen Auswirkungen für die Folgegenerationen führen. Die Eintrittswahrscheinlichkeit (Schadensrisiko) stochastischer Strahlenschäden wird auf der Grundlage von beobachteten Erkrankungshäufigkeiten bei exponierten Bevölkerungsgruppen – wie z.B. der in der Nähe des STS lebenden Bevölkerung – abgeschätzt. Strahlenbedingte Krebsfälle lassen sich – anders als deterministische Strahlenschäden – bei Einzelpersonen nicht anhand des Krankheitsbildes feststellen, da sich dieses nicht von dem bei sog. spontanen Erkrankungen unterscheidet.¹¹

3. Nachweis gesundheitlicher Auswirkungen ionisierender Strahlung

Aufgrund ihrer zellschädigenden Wirkung kann ionisierende Strahlung zu einer Vielzahl gesundheitlicher Auswirkungen auf den menschlichen Körper führen, wobei ein direkter Zusammenhang zur aufgetretenen Gesundheitsschädigung bzw. Erkrankung nur zum Teil nachweisbar ist. So kann lediglich bei deterministischen Strahlenschäden ein direkter Zusammenhang der Schädigung zur Strahlung hergestellt werden. Im Gegensatz dazu können stochastische Strahlenwirkungen nicht direkt auf die Strahlenexposition zurückgeführt werden, da sich das Krankheitsbild dieser strahlenbedingten Erkrankungen nicht von dem sog. spontaner Erkrankungen unterscheidet. Insofern ist es nicht möglich, festzustellen, ob die jeweilige Erkrankung bzw. Schädigung durch die Strahlung oder durch andere Faktoren verursacht wurde. Strahlenbedingte Krebsfälle, die zu den stochastischen Strahlenwirkungen zählen, können daher nur mit epidemiologisch¹²-statistischen Methoden, d.h. durch die Feststellung erhöhter Erkrankungsraten in relativ großen, exponierten Personengruppen, ermittelt werden.¹³

11 Vergleiche hierzu Informationen auf der Internetseite des BfS, im Internet abrufbar unter <http://www.bfs.de/de/ion/einfuehrung/einfuehrung.html> sowie <http://www.bfs.de/de/ion/wirkungen/leukaemie.html>.

12 Die wissenschaftliche Disziplin der Epidemiologie untersucht die Verteilung von Krankheiten in einer Bevölkerung und deren Einflussfaktoren; vergleiche hierzu sowie zu möglichen Methoden der Untersuchung <http://www.bfs.de/de/ion/wirkungen/epidem.html>.

13 Vergleiche hierzu Informationen auf der Internetseite des BfS, insbesondere unter <http://www.bfs.de/de/ion/einfuehrung/einfuehrung.html>.

4. Datengrundlagen für die Untersuchung gesundheitlicher Auswirkungen der Atomwaffentests in Semipalatinsk

Wie bereits dargestellt wurde, ist der Nachweis bestimmter strahlenbedingter Erkrankungen nur mit Hilfe epidemiologisch-statistischer Methoden möglich. Dabei wird untersucht, inwieweit sich innerhalb exponierter Personengruppen erhöhte Erkrankungsraten feststellen lassen; die betrachtete Personengruppe sollte hierfür möglichst groß sein. Bevor Erkenntnisse über einen möglichen Zusammenhang zwischen ionisierender Strahlung und beobachteten Gesundheitsschäden gewonnen werden können, müssen daher zunächst für eine möglichst hohe Anzahl exponierter Personen Daten zum Gesundheitszustand vorliegen.

Im Hinblick auf die in der Nähe des STS lebende Bevölkerung stellt die sog. historische Kohorte Semipalatinsk die wesentliche Datengrundlage dar. Hauptziel der „historischen Kohorte“ war die Erhebung medizinischer Daten zu Strahlungseffekten auf die Bevölkerung sowie die Registrierung von Auswirkungen auf den Gesundheitszustand (insbesondere Krebs) in definierten Gruppen, die einer hohen bzw. einer niedrigen Strahlung ausgesetzt waren.¹⁴ Aufgebaut wurde die „historische Kohorte“ zu Beginn der 1960er Jahre durch das sog. Dispanser No. 4¹⁵ sowie das Moskauer Institut für Biophysik (Moscow Institute for Biophysics – IBP).

Die „historische Kohorte“ erfasst insgesamt 19.545 Personen, die zwei verschiedenen Gruppen zugeteilt wurden – einer exponierten Hauptgruppe sowie einer nicht exponierten Vergleichsgruppe. Die Personen der Hauptgruppe stammten aus zehn ausgewählten Dörfern in der Nähe des STS, während die Personen der Vergleichsgruppe in sechs verschiedenen Dörfern lebten, die mehrere hundert Kilometer vom Testgelände entfernt lagen. Zwar waren auch letztere in gewissem Maß der im Zuge der durchgeführten Atomwaffentests freigesetzten Strahlung ausgesetzt, allerdings in der Regel in deutlich geringerem Ausmaß. In die Kohorte wurden Personen, die vor dem 1. Januar 1961 geboren wurden und seit dem Zeitpunkt ihrer Geburt bis zum Beginn der Studie nachgewiesenermaßen dauerhaft in den ausgewählten Dörfern wohnhaft waren, aufgenommen. Darüber hinaus war ein guter Gesundheitszustand Voraussetzung für die Aufnahme in die Kohorte. Personen, die bereits zu Studienbeginn unter schweren Erkrankungen wie z.B. Tuberkulose oder Brucellose litten, wurden von einer Teilnahme ausgeschlossen. Die Vergleichsgruppe wurde im Hinblick auf Geschlecht und Alter entsprechend der Hauptgruppe zusammengesetzt (frequency-matched).¹⁶

Für den ausgewählten Personenkreis wurden im Zeitraum von 1960 bis 1991 in regelmäßigen Abständen verschiedene Daten zum Gesundheitszustand (ggf. einschließlich Angaben zur Todesursache) erhoben.¹⁷ Die Daten der „historischen Kohorte“ wurden unter wesentlicher Beteili-

14 Bauer (u.a.) (2006), S. 612, beigelegt als **Anlage 2**.

15 Die Nachfolgeorganisation dieser lokalen Forschungsinstitution ist das sog. Scientific Research Institute for Radiation Medicine and Ecology (SRIRME).

16 Vergleiche hierzu Bauer (u.a.) (2005), beigelegt als **Anlage 3**, und Bauer (u.a.) (2006).

17 Ausführlicher hierzu Grosche (u.a.) (2002), S. 76f, beigelegt als **Anlage 4**.

gung des BfS ausgewertet¹⁸ und stellten die Grundlage für verschiedene nachfolgende Veröffentlichungen, die sich jeweils auf bestimmte Erkrankungen bezogen, dar. Die aktuellste veröffentlichte Auswertung stammt aus dem Jahr 2011 und beschäftigte sich mit der Sterblichkeit aufgrund strahlenbedingter Herz-Kreislaufkrankungen in der Region Semipalatinsk.¹⁹

Neben einer möglichst umfangreichen Sammlung entsprechender Gesundheitsdaten müssen – insbesondere hinsichtlich einer Dosis-Wirkungsanalyse – Informationen zur Höhe der Strahlenbelastung der in die Studie einbezogenen Personen vorliegen. Die Auswertung der im Rahmen der „historischen Kohorte“ gewonnenen Daten erfolgte – abhängig vom Zeitpunkt der jeweiligen Auswertung – unter Anwendung zweier Schätzverfahren zur Ermittlung der individuellen Strahlenbelastung. Das zunächst angewendete Verfahren²⁰ ergab für die Personen der Hauptgruppe eine durchschnittliche Strahlenbelastung von 2.000 mSv; für die Vergleichsgruppe wurde eine durchschnittliche Dosis von 70 mSv ermittelt.²¹ Später wurde ein neues Schätzverfahren entwickelt, bei dessen Anwendung sich für beide Gruppen deutliche geringere Werte ergeben. Zur Hauptgruppe gehörende Personen waren danach einer durchschnittlichen Strahlung von 634 mSv ausgesetzt. Personen, die zur Vergleichsgruppe gehören, wurden nach dem neuen Schätzverfahren durchschnittlich mit einer Dosis von 20 mSv bestrahlt.²² In der sich anschließenden Darstellung der einzelnen Studien bzw. Auswertungen wird jeweils angegeben, welches der beiden Verfahren zur Ermittlung der individuellen Strahlendosis Anwendung gefunden hat.

Ab dem Jahr 2001 wurde in einer Kooperation zwischen japanischen und kasachischen Instituten eine neue Kohorte aufgebaut, die bis zum Jahr 2009 ausgewertet wurde. Bisher wurde in der allgemein zugänglichen Literatur jedoch keine Auswertung dieser neuen Kohorte veröffentlicht. Im Rahmen des EU-geförderten Projekts SEMI-NUC wird derzeit geprüft, ob die „historische Kohorte“ mit der neu gebildeten Kohorte zusammengeführt werden kann und inwieweit eine gemeinsame Auswertung beider Kohorten möglich ist.²³

5. Studien zu den gesundheitlichen Auswirkungen der Atomwaffenversuche in Semipalatinsk auf exponierte Personen

Es gibt mehrere Studien, die sich mit den gesundheitlichen Auswirkungen der Atomwaffentests auf die in der Nähe des STS lebende Bevölkerung auseinandersetzen. Gegenstand der Untersuchungen war u.a. ein möglicher Zusammenhang zwischen der im Zuge der Atomwaffentests frei-

18 Vergleiche hierzu http://www.bfs.de/de/bfs/forschung/dm_forschung/semi_nuc.html/printversion.

19 Zur Darstellung der wesentlichen Veröffentlichungen vergleiche Gliederungspunkt 5.

20 Sofern im Folgenden von diesem Schätzverfahren die Rede ist, wird dieses als ursprüngliches Schätzverfahren bezeichnet.

21 Die Faktoren, die in die Ermittlung der individuellen Strahlendosis Eingang fanden, sind ausführlicher dargestellt bei Grosche (u.a.) (2002), S. 76 sowie Gusev (u.a.) (1998), S. 209f, beigelegt als **Anlage 5**.

22 Zu den Grundzügen des überarbeiteten Schätzverfahren vergleiche z.B. Bauer (u.a.) (2005), S. 411f. sowie Grosche (u.a.) (2011), S. 661, beigelegt als **Anlage 6**.

23 Vergleiche hierzu http://www.bfs.de/de/bfs/forschung/dm_forschung/semi_nuc.html.

gewordenen ionisierenden Strahlung und den aufgetretenen gesundheitlichen Beeinträchtigungen bzw. Erkrankungen in der Bevölkerung. Die wesentlichen Ergebnisse ausgewählter Studien werden im Folgenden dargestellt. Zwar werden in diesem Zusammenhang die Grundlage und der Aufbau der Studie jeweils grob skizziert, auf eine ausführliche Darstellung der jeweiligen Berechnungen wird jedoch verzichtet. Sofern die „historische Kohorte“ Grundlage für die jeweilige Studie war, wird das jeweils angewendete Schätzverfahren zur Ermittlung der individuellen Strahlenbelastung angegeben. Es liegen jedoch keine Informationen darüber vor, inwieweit Studien, die unter Anwendung des ursprünglichen Schätzverfahrens durchgeführt wurden, unter Berücksichtigung des neuen Schätzverfahrens ggf. neu zu bewerten wären.

5.1. Solide Tumore²⁴

Im Rahmen verschiedener Studien wurde betrachtet, inwieweit in der Region um das STS in der Zeit nach den Atomwaffentests Personen vermehrt an soliden Tumoren erkrankten.

Im Jahr 1998 wurde eine Auswertung zur Anzahl der aufgetretenen Krebserkrankungen in der Region um Semipalatinsk für die Jahre 1956 bis 1994 veröffentlicht.²⁵ Grundlage für die Betrachtung war die „historische Kohorte“ Semipalatinsk; die individuelle Strahlenbelastung wurde mit Hilfe des ursprünglichen Schätzverfahrens ermittelt. Ausgewertet wurden die vorliegenden Daten zur Krebsinzidenz²⁶ sowohl für die Haupt- sowie die Vergleichsgruppe als auch vergleichend für beide Gruppen. Im Zeitablauf wurde dabei sowohl in der Haupt- als auch der Vergleichsgruppe ein Ansteigen der Inzidenzen beobachtet. Der Anstieg fiel in der Hauptgruppe deutlich stärker aus als in der Vergleichsgruppe und unterlag darüber hinaus – anders als in der Vergleichsgruppe – erheblichen Schwankungen. Hierbei wurden von den Autoren der Studie zwei Höhepunkte ausgemacht. So stieg zunächst die Inzidenz in der Hauptgruppe bis zum Jahr 1970 von 63,0 Erkrankungen je 100.000 Personen auf 394,5. In den auf diesen Höhepunkt folgenden Jahren sank die Inzidenz auf 207,3 Krankheitsfälle je 100.000 Personen, stieg in den 1980er Jahren wieder an und erreichte im Jahr 1990 mit einem Wert von 354,1 Erkrankungen je 100.000 Personen einen zweiten Höhepunkt. Anschließend sank die Krebsinzidenz erneut.²⁷ Während des gesamten betrachteten Zeitraums war die Krebsinzidenz in der Hauptgruppe höher als der ent-

24 Bei soliden Tumoren handelt es sich um Krebserkrankungen, die in verschiedenen Organen (z.B. Speiseröhre, Magen, Leber) ihren Ursprung nehmen können. Nicht zu den soliden Tumoren zählen Leukämien, die Krebserkrankungen des Blutsystems darstellen. Vergleiche hierzu Informationen des Robert Bosch Krankenhauses Stuttgart, im Internet abrufbar unter <http://www.rbk.de/standorte/robert-bosch-krankenhaus/abteilungen/-haematologie-onkologie-und-palliativmedizin/informationen-fuer-patienten-und-angehoerige/erkrankungen-und-therapien.html>.

25 Gusev (u.a.) (1998).

26 Die Inzidenz gibt die Anzahl der neu auftretenden Erkrankungen innerhalb einer Personengruppe von bestimmter Größe während eines bestimmten Zeitraums an, Duden online, im Internet abrufbar unter <http://www.duden.de/rechtschreibung/Inzidenz>.

27 Eine ausführliche Darstellung einschließlich graphischer Übersichten der Entwicklung der Inzidenzraten findet sich bei Gusev (u.a.) (1998), S. 210 ff.

sprechende Wert in der Vergleichsgruppe; allerdings war der Unterschied nicht in allen Jahren statistisch signifikant.²⁸

Neben der Entwicklung der Inzidenz bezogen auf alle soliden Tumore wurde im Rahmen der 1998 veröffentlichten Studie die Entwicklung der Erkrankungsrate bezogen auf bestimmte Krebserkrankungen untersucht. Der erste beobachtete Anstieg beruhte danach insbesondere auf der gestiegenen Anzahl an Speiseröhren-, Magen- und Leberkrebs, wobei die aufgetretenen Speiseröhrenkrebskrankungen dominierten. Der zweite beobachtete Anstieg der Inzidenz war hingegen hauptsächlich auf Lungen-, Brust- und Schilddrüsenkarzinome zurückzuführen.²⁹

Nach Ansicht der Autoren gibt es Belege für ein strahlenbedingt erhöhtes Erkrankungsrisiko bezogen auf solide Tumore in der Hauptgruppe. Aufgrund der ausgewerteten Daten sei jedoch keine Dosis-Wirkungsbeziehung ermittelbar. Die Autoren der Studie weisen darauf hin, dass die ermittelten Ergebnisse aufgrund der insgesamt geringen Anzahl beobachteter Fälle sowie der Art der Studie vorsichtig zu interpretieren seien. Auch sei nicht auszuschließen, dass die festgestellten Anstiege der Erkrankungsraten auf andere bzw. weitere Faktoren als die durchgeführten Atomwaffentests zurückgeführt werden könnten bzw. ein Zusammenhang mit diesen bestehe. So könne möglicherweise der erste Anstieg zum Teil darauf zurückzuführen sein, dass aufgrund der zu Studienzwecken durchgeführten Massenuntersuchungen mehr Erkrankungen festgestellt wurden, ohne dass die jeweilige Erkrankung tatsächlich (strahlenbedingt) häufiger aufgetreten sei (sog. Screening-Effekt).³⁰

Weitere Ergebnisse bezüglich eines möglicherweise bestehenden erhöhten Risikos von Tumorerkrankungen aufgrund der atomwaffentestbedingten Strahlung in Semipalatinsk wurden im Jahr 2005 veröffentlicht.³¹ Die „historische Kohorte“ bildete auch für diese Untersuchung die Basis. Im Gegensatz zur zuvor beschriebenen Untersuchung wurde im Rahmen dieser Studie nicht die Anzahl der aufgetretenen entsprechenden Erkrankungen, sondern die Sterblichkeit allgemein sowie die Krebssterblichkeit betrachtet. Für die Hauptgruppe wurde dabei eine deutlich höhere Sterblichkeits- sowie Krebssterblichkeitsrate ermittelt. Ein signifikant erhöhtes Risiko wurde für Speiseröhren-, Magen-, Leber-, Lungen- und Brustkrebs bei Frauen festgestellt. Hingegen wurde im Hinblick auf Tumore des Gebärmutterhalses, der Bauchspeicheldrüse (Pankreas), der Nieren und des Darms kein signifikant erhöhtes Erkrankungsrisiko für die Hauptgruppe ermittelt.³²

Darüber hinaus werteten die Autoren der Studie die vorliegenden Daten hinsichtlich eines ggf. bestehenden Dosis-Wirkungs-Zusammenhangs aus. Zu diesem Zweck wurde die Hauptgruppe in Abhängigkeit von der jeweils aufgenommenen Strahlendosis in verschiedene Untergruppen un-

28 Dies betrifft z.B. die Jahre 1975 sowie 1994, in denen die Erkrankungsrate in der Hauptgruppe nur leicht über der der Vergleichsgruppe lag.

29 Gusev (u.a.) (1998), S. 209.

30 Ausführlicher hierzu Gusev (u.a.) (1998), S. 214.

31 Bauer (u.a.) (2005).

32 Bauer (u.a.) (2005), S. 413.

terteilt und das Sterblichkeitsrisiko für die einzelnen Gruppen ermittelt und miteinander verglichen. Grundlage für diese Betrachtung war das ursprüngliche Schätzverfahren zur Ermittlung der individuellen Strahlenbelastung. Die Autoren kamen hierbei zu dem Schluss, dass die vorliegenden Daten auf ein mit zunehmender Strahlendosis steigendes Risiko hindeuten. Der stärkste Zusammenhang wurde für die mit der höchsten Dosis exponierte Gruppe festgestellt. Für alle soliden Tumore sowie für Tumore des Verdauungs- und des Atmungssystems wurde ein entsprechender Trend nachgewiesen. Ein signifikanter Dosis-Wirkungs-Zusammenhang wurde für Lungenkrebs allgemein sowie Speiseröhren-, Magen- und Brustkrebs bei Frauen ermittelt. Ein entsprechender Zusammenhang konnte hingegen weder im Hinblick auf die Sterblichkeit allgemein noch für Leberkrebs festgestellt werden. Dies gilt auch für Speiseröhren- und Magenkrebs bei Männern.³³

5.2. Schilddrüsenkrebs

Ein möglicher Zusammenhang zwischen der aufgrund der Atomwaffentests freigesetzten ionisierenden Strahlung und den aufgetretenen Schilddrüsenkrebserkrankungen stand im Mittelpunkt einer Untersuchung aus dem Jahr 2008, die ebenfalls auf der „historischen Kohorte“ basiert.³⁴ Anders als in den bereits dargestellten Studien wurde nur ein Teil der Hauptgruppe der „historischen Kohorte“ in die Untersuchung einbezogen. So wurde der Personenkreis auf die zwischen 1949 und 1957 unter 21-jährigen Personen aus sieben der insgesamt zehn einbezogenen Ortschaften beschränkt. Die altersbezogene Einschränkung wurde vorgenommen, da das Risiko einer strahlenbedingten Schilddrüsenkrebserkrankung bei Kindern und Jugendlichen am höchsten ist und mit steigendem Alter sinkt. Zusätzlich wurden weitere Personen, die nicht der „historischen Kohorte“ angehörten, in die Studie aufgenommen.³⁵

Die insgesamt 2.994 Studienteilnehmer³⁶ wurden mittels Ultraschall auf bestehende Knötchen in der Schilddrüse untersucht. Anhand der gewonnenen Daten wurde die Prävalenz (Krankheitshäufigkeit) von Knötchen in der Schilddrüse ermittelt. Darüber hinaus nahmen die Autoren eine dosisbezogene Analyse dieser Daten vor; hierfür wurde die individuelle Strahlenbelastung der Schilddrüse ermittelt.³⁷ Die Prävalenz für mittels Ultraschall festgestellte Knötchen in der Schilddrüse lag bei 18 Prozent bezogen auf die männlichen Teilnehmer; für die teilnehmenden Frauen wurde eine entsprechende Prävalenz von 39 Prozent ermittelt. Die Autoren der Studie kommen zu dem Schluss, dass die Prävalenz sowohl mit der externen als auch der internen Strahlendosis assoziiert ist. Mit steigendem Alter zum Zeitpunkt der Untersuchung wurde eine

33 Zur Darstellung der entsprechenden Berechnungsergebnisse – auch in tabellarischer Form – vergleiche Bauer (u.a.) (2005), S. 413ff.

34 Land (u.a.) (2008), beigelegt als **Anlage 7**.

35 Diese mussten zwar das von den Autoren gewählte Alter aufweisen, nicht jedoch die Voraussetzungen (dauerhafter Aufenthalt in den ausgewählten Dörfern, guter Gesundheitszustand) erfüllen, die für die Aufnahme in die „historische Kohorte“ gegeben sein mussten (vergleiche hierzu Gliederungspunkt 4).

36 Ursprünglich wurden 2.997 Personen in die Studie einbezogen. Die Daten für drei Personen waren jedoch unvollständig oder fehlten.

37 Ausführlicher hierzu vergleiche Land (u.a.) (2008), S. 375ff.

steigende Prävalenz festgestellt. Dabei lag die Prävalenz bei Frauen signifikant über der Prävalenz bei Männern und stieg mit steigender Dosis an.

Allerdings weisen die Autoren der Studie auf verschiedene grundsätzliche Schwierigkeiten im Hinblick auf die Ermittlung eines strahlenbedingt erhöhten Risikos, an Schilddrüsenkrebs zu erkranken, hin. So sei für die Feststellung eines entsprechenden Zusammenhangs die Betrachtung großer Personengruppen erforderlich, da es sich bei Schilddrüsenkrebs um eine seltene Erkrankung handle. Auch seien Erwachsene im Vergleich zu Kindern und Jugendlichen relativ unempfindlich in Bezug auf strahlenbedingte Schilddrüsenenerkrankungen. Darüber hinaus handle es sich zwar praktisch bei jedem Tumor der Schilddrüse um Knötchen, umgekehrt entwickelten sich Knötchen jedoch nur selten zu klinischem Schilddrüsenkrebs. Da Schilddrüsenkrebs eine schmerzfreie Erkrankung darstelle, die – sofern keine entsprechenden Untersuchungen erfolgten – häufig erst nach sehr langer Zeit entdeckt werde, könne die Prävalenz in untersuchten Bevölkerungsgruppen bei gleichzeitig identischen Risiken die Prävalenz in nicht untersuchten Gruppen deutlich übersteigen. Dieser sog. Screening-Effekt könne somit (fälschlicherweise) zu dem Schluss führen, die erhöhte Prävalenz sei strahlenbedingt.³⁸ Die Autoren weisen darüber hinaus auf die grundsätzlich bestehenden Probleme bei der Ermittlung der tatsächlichen Strahlendosis hin. Gleichzeitig bestünde Grund zur Annahme, dass ein verändertes Schätzverfahren zur Ermittlung der Strahlendosis zwar möglicherweise Einfluss auf die Ermittlung einer Dosis-Wirkungsbeziehung, jedoch eine geringere Auswirkung auf deren statistische Signifikanz habe. Insofern könne vermutet werden, ihre Haupteckdaten – die Prävalenz für Knötchen in der Schilddrüse könne signifikant und unabhängig voneinander sowohl mit der externen als auch der internen Dosis assoziiert werden – bleibe auch bei veränderter Schätzung der individuellen Dosis bestehen.³⁹

5.3. Speiseröhrenkrebs

Eine ebenfalls auf der „historischen Kohorte“ basierende Untersuchung des strahlenbedingten Sterblichkeitsrisikos in Bezug auf Speiseröhrenkrebs wurde im Jahr 2006 veröffentlicht.⁴⁰ Von den insgesamt aufgetretenen 889 Todesfällen aufgrund bösartiger Tumore waren 317 auf Speiseröhrenkrebs zurückzuführen. Diese Art der Krebserkrankung stellte damit die am häufigsten einzeln auftretende Krebsart in der „historischen Kohorte“ dar. Bezogen auf die gesamte Kohorte stellten die Autoren einen statistisch signifikanten Anstieg des relativen Risikos im Verhältnis zur, mit Hilfe des neuen Schätzverfahrens ermittelten, Dosis fest. In Bezug auf die Hauptgruppe wurde zwar ebenfalls ein Zusammenhang zwischen der Strahlendosis und dem Sterblichkeitsrisiko festgestellt⁴¹, dieser war jedoch deutlich geringer als für die gesamte Kohorte und blieb lediglich bei den Frauen auch bei ausschließlicher Betrachtung der Hauptgruppe statistisch signifikant. Nach Ansicht der Autoren weisen die Daten auf einen Zusammenhang zwischen einer

38 Land (u.a.) (2008), S. 380.

39 Land (u.a.) (2008), S. 380f.

40 Bauer (u.a.) (2006).

41 Bauer (u.a.) (2006), S. 613ff.

Strahlenexposition und der Mortalität aufgrund von Speiseröhrenkrebs hin, der weiter untersucht werden sollte.

5.4. Herz-Kreislaufkrankungen

Im Jahr 2011 wurde eine Studie zu den Auswirkungen der auf dem STS durchgeführten Atomwaffentests auf das Risiko, an Herz-Kreislaufkrankungen zu erkranken bzw. zu versterben, veröffentlicht.⁴² Grundlage für diese Studie war wiederum die „historische Kohorte“, wobei nur Personen berücksichtigt wurden, für die eine individuelle Strahlendosis ermittelt werden konnte. Aus der Hauptgruppe wurden darüber hinaus Personen, deren Geburtsdatum nach dem jeweils relevanten Atomwaffentest lag, ausgeschlossen. Insgesamt wurden die Daten für 15.838 Personen ausgewertet. Der Studie wurde das neue Schätzverfahren zur Ermittlung der Strahlenbelastung zugrunde gelegt, durch dessen Anwendung nach Angaben der Autoren eine Überschätzung der individuellen Strahlendosen wie in früheren Untersuchungen⁴³ vermieden wurde.

Die ermittelte Sterblichkeitsrate bei Herz-Kreislaufkrankungen lag in der Hauptgruppe erheblich über der der Vergleichsgruppe. Für beide Gruppen wurde darüber hinaus eine Dosis-Wirkungsanalyse unter Anwendung des neuen Schätzverfahrens zur Ermittlung der individuellen Strahlenbelastung durchgeführt. Bezogen auf den gesamten betrachteten Personenkreis wurde ein Dosis-Wirkungszusammenhang festgestellt, der jedoch vollständig auf unterschiedliche Ausgangswerte in der Haupt- und der Vergleichsgruppe zurückgeführt werden konnte. Unter Berücksichtigung dieses Unterschieds wurde keine statistisch signifikante Dosis-Wirkungsbeziehung für sämtliche Herz-Kreislaufkrankungen, Herzinfarkte und Schlaganfälle gefunden. Bezogen auf die Hauptgruppe konnte für keine der betrachteten Todesursachen ein Dosis-Wirkungszusammenhang ermittelt werden. Die Autoren kommen daher zu dem Schluss, dass innerhalb der betrachteten Bevölkerungsgruppe und bei der geschätzten Strahlenbelastung kein nachweisbares Risiko besteht, strahlenbedingt an Herz-Kreislaufkrankungen zu versterben.

6. Studien zu den gesundheitlichen Auswirkungen der Atomwaffentests in Semipalatinsk auf die Folgegenerationen

Neben der Frage, ob und inwieweit ionisierende Strahlung das Entstehen bestimmter Erkrankungen bei den direkt der Strahlung ausgesetzten Personen verursacht bzw. begünstigt, wurden Studien zu deren möglichen Auswirkungen auf Folgegenerationen durchgeführt. Hinsichtlich der in der Nähe des STS lebenden Bevölkerung wurde ein möglicher Zusammenhang zwischen der Bestrahlung und dem Geschlechterverhältnis⁴⁴ sowie der Anzahl der Zwillingsgeburten untersucht.

42 Grosche (u.a.) (2011).

43 Die Autoren verweisen an dieser Stelle auf Bauer (u.a.) (2005); vergleiche Grosche (u.a.) (2011), S. 666.

44 Das Geschlechterverhältnis (Geschlechterverteilung, sex ratio) gibt das Zahlenverhältnis zwischen männlichen und weiblichen Personen in einer Population an. Es wird aus der Anzahl der männlichen Personen zur Anzahl der weiblichen Personen errechnet. Je höher der ermittelte Wert ist, umso höher ist die Anzahl der männlichen Personen bezogen auf die Anzahl der weiblichen Personen.

6.1. Geschlechterverhältnis

Im Jahr 2007 wurden die Ergebnisse einer Studie⁴⁵ veröffentlicht, in der die Auswirkung ionisierender Strahlung und anderer Faktoren auf das Geschlechterverhältnis untersucht wurde. Hierzu wurden Daten von 3.992 Müttern, die im Jahr 1949 maximal 20 Jahre alt waren und aus einer von insgesamt 14 verschiedenen Siedlungen in der (relativen) Nähe⁴⁶ des STS stammten, ausgewertet. Von den insgesamt 11.749 geborenen Nachkommen dieser Mütter wurden nur Einzelgeburten nach der für die jeweilige Siedlung maßgeblichen ersten hohen Strahlenexposition aufgrund der Atomwaffentests berücksichtigt, so dass insgesamt 11.464 Kinder in die Studie einbezogen wurden. Bezogen auf den gesamten betrachteten Personenkreis lag das Geschlechterverhältnis nach Angaben der Autoren in etwa auf demselben Niveau wie das Geschlechterverhältnis in Kasachstan allgemein. Mit zunehmender Dosis wurde ein Anstieg des Geschlechterverhältnisses festgestellt, der jedoch statistisch nicht signifikant war.⁴⁷

6.2. Häufigkeit von Zwillingsgeburten

Die Frage, inwieweit die im Rahmen der auf dem STS durchgeführten Atomwaffentests freigesetzte ionisierende Strahlung und andere Faktoren Einfluss auf die Häufigkeit von Zwillingsgeburten haben, stand im Mittelpunkt einer im Jahr 2010 veröffentlichten Studie.⁴⁸ Als Grundlage für die Auswertung dienten die Daten, die im Rahmen der zuvor bereits dargestellten Studie zum Einfluss ionisierender Strahlung auf das Geschlechterverhältnis der Nachkommen direkt exponierter Mütter erhoben wurden.⁴⁹ Es wurden somit die Daten von 3.992 Müttern, die insgesamt 11.749 Nachkommen zur Welt brachten, ausgewertet. Anders als bei der zuvor beschriebenen Studie wurden die Daten für sämtliche Nachkommen in die Studie einbezogen; ein Ausschluss der Mehrlingsgeburten erfolgte aufgrund der Fragestellung nicht.

Die ermittelte Zwillingsrate für gleichgeschlechtliche Zwillinge lag bei 7,9 je 1.000 Lebendgeburten. Da den Autoren kein Vergleichswert für Kasachstan bekannt war, konnte kein Vergleich mit der Zwillingsrate in der Region Semipalatinsk nach den durchgeführten Atomwaffentests statt-

45 Mudie (u.a.) (2007), beigelegt als **Anlage 8**.

46 Diese waren zwischen 76 und 186 Kilometer vom STS entfernt. Eine Auflistung der einbezogenen Siedlungen, deren jeweiliger Abstand zum Testgelände, das Datum des Atomwaffentests, der zur ersten hohen Strahlenbelastung führte, sowie die geschätzte Dosis finden sich in Tabelle 1 bei Mudie (u.a.) (2007).

47 Auch wurde kein konsistenter Zusammenhang zwischen dem Geschlechterverhältnis und der seit der Bestrahlung der Eltern vergangenen Zeitspanne, dem Alter der Eltern zum Zeitpunkt der Bestrahlung und dem Geburtsjahr festgestellt. Im Gegensatz dazu stellten die Autoren der Studie einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Geschlechterverhältnis und dem Alter der Mutter, der Geburtsreihenfolge sowie möglicherweise der ethnischen Zugehörigkeit fest. Ein entsprechender Zusammenhang konnte hingegen nicht ermittelt werden bezogen auf das Alter des Vaters, das Bildungsniveau der Eltern sowie die Jahreszeit; Mudie (u.a.) (2007), S. 600.

48 Mudie (u.a.) (2010), beigelegt als **Anlage 9**.

49 Vergleiche Gliederungspunkt 6.1.

finden.⁵⁰ Bezogen auf gegengeschlechtliche Zwillinge lag die Zwillingsrate bei 4,45 je 1.000 Lebendgeburten. Bei der durchgeführten Dosis-Wirkungsanalyse konnte kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Häufigkeit von Zwillingsgeburten und der jeweiligen Strahlendosis festgestellt werden.⁵¹ Allerdings stieg die Wahrscheinlichkeit, verschieden geschlechtliche Zwillinge zu gebären, kurz nach der jeweils maßgebenden Hauptexposition an. Verglichen wurde in diesem Zusammenhang die Anzahl der Zwillingsgeburten in den ersten fünf Jahren mit der Anzahl der mehr als 20 Jahre nach der Hauptexposition geborenen Zwillinge. Da dieser Effekt allerdings sowohl in den Dörfern mit hoher als auch mit niedriger Strahlenbelastung festgestellt wurde, ist die Interpretation dieser Feststellung nach Ansicht der Autoren unklar.

7. Zusammenfassung

Ionisierende Strahlung wirkt beim Menschen zellschädigend; hierdurch können Gesundheitsschäden – bis hin zum Tod – hervorgerufen werden. Allerdings lassen sich nur bestimmte Erkrankungen, sog. deterministische Strahlenschäden, direkt auf eine Strahlenexposition zurückführen. Bei anderen Erkrankungen, den sog. stochastischen Strahlenschäden, lässt sich ein entsprechender Zusammenhang im Einzelfall nicht nachweisen. Zu den stochastischen Strahlenschäden zählen u.a. Krebserkrankungen. Die Eintrittswahrscheinlichkeit stochastischer Strahlenschäden wird auf der Grundlage von beobachteten Erkrankungshäufigkeiten bei exponierten Bevölkerungsgruppen abgeschätzt.

Derartige epidemiologische Studien wurden auch für die Region um das Testgelände Semipalatinsk durchgeführt. Im Rahmen dieser Studien wurden für bestimmte Krebserkrankungen – zum Teil statistisch signifikant – erhöhte Erkrankungszahlen und/oder Sterblichkeitsraten in der in der Nähe des STS lebenden Bevölkerung beobachtet. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass festgestellte erhöhte Fallzahlen nicht zwangsläufig auf die im Rahmen der Atomwaffentests freigesetzte ionisierende Strahlung zurückzuführen sind. So können z.B. die zu Studienzwecken durchgeführten Massenuntersuchungen zu einem Anstieg der festgestellten Erkrankungsfälle führen, ohne dass die jeweilige Erkrankung tatsächlich (strahlenbedingt) häufiger auftritt (sog. Screening-Effekt). Um Aussagen über einen möglichen Zusammenhang zwischen erhöhten Fallzahlen und den Atomwaffentests treffen zu können, wurden in einigen der untersuchten Studien Dosis-Wirkungsanalysen durchgeführt. Für bestimmte Krebserkrankungen (und teilweise nur bestimmte Personengruppen, wie z.B. Frauen) wurde dabei ein – zum Teil statistisch signifikanter – Dosis-Wirkungszusammenhang ermittelt.

50 Nach Angaben der Autoren ist die Zwillingsrate in Abhängigkeit von der jeweiligen Region und der ethnischen Zugehörigkeit unterschiedlich hoch und schwankt zwischen 6 Zwillingsgeburten je 1.000 Lebendgeburten in Asien und 40 Zwillingsgeburten je 1.000 Lebendgeburten in Afrika. In diesem Zusammenhang weisen die Autoren auf die sich unterscheidenden Definitionen des Begriffs Lebendgeburten in Asien und den westlichen Ländern hin, die eine Unterschätzung der tatsächlichen Zwillingsraten zur Folge haben könnten; vergleiche Mudie (u.a.) (2010), S. 834.

51 Auch zum Alter der Eltern zum Zeitpunkt der Hauptexposition sowie dem Geburtsjahr war kein statistisch signifikanter Zusammenhang feststellbar. Die Anzahl der Zwillingsgeburten blieb von den übrigen betrachteten demographischen Faktoren ebenfalls unbeeinflusst. Lediglich bei verschieden geschlechtlichen Zwillingen wurde ein positiver Zusammenhang mit dem Alter der Mutter zum Zeitpunkt der Schwangerschaft festgestellt; vergleiche Mudie (u.a.) (2010), S. 829.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studien deuten darauf hin, dass für die aufgrund der durchgeführten Atomwaffentests exponierte Bevölkerung in der Region Semipalatinsk – zumindest bezogen auf bestimmte Erkrankungen – strahlenbedingt ein erhöhtes Erkrankungsrisiko besteht. Unabhängig davon ist es jedoch nicht möglich, im Einzelfall einen kausalen Zusammenhang zwischen der individuellen Erkrankung und der Strahlenexposition aufgrund der durchgeführten Atomwaffentests nachzuweisen. Ob ein entsprechender Einzelfallnachweis in Zukunft möglich sein wird, ist derzeit nicht absehbar.

8. Literaturliste/Anlagenverzeichnis

Grosche (2002), Semipalatinsk test site: Introduction, in: Radiation and Environmental Biophysics 2002, Volume 41, S. 53-55

Anlage 1

Bauer (u.a.) (2006), Esophagus Cancer and Radiation Exposure Due to Nuclear Test Fallout: An Analysis Based on the Date of the Semipalatinsk Historical Cohort, 1960-1999, in: RadBiolRadiologija 2006, Volume 46, Nr. 5, S. 611-618

Anlage 2

Bauer (u.a.) (2005), Radiation Exposure due to Local Fallout from Soviet Atmospheric Nuclear Weapons Testing in Kazakhstan: Solid Cancer Mortality in the Semipalatinsk Historical Cohort, 1960-1999, in Radiation Research 2005, Volume 164, S. 409-419

Anlage 3

Grosche (u.a.) (2002), Fallout from nuclear tests: health effects in Kazakhstan, in: Radiation and Environmental Biophysics 2002, Volume 41, S. 75-80

Anlage 4

Gusev (u.a.) (1998), The Semipalatinsk nuclear test site: a first analysis of solid cancer incidence (selected sites) due to test-related radiation, in: Radiation and Environmental Biophysics 2008, Volume 37, S. 209-214

Anlage 5

Grosche (u.a.) (2011), Mortality from Cardiovascular Diseases in the Semipalatinsk Historical Cohort, 1960-1999, and its Relationship to Radiation Exposure, in: Radiation Research 2011, Volume 176, S. 660-229

Anlage 6

Land (u.a.) (2008), Ultrasound-Detected Thyroid Nodule Prevalence and Radiation Dose from Fallout, in: Radiation Research 2008, Volume 169, S. 373-383

Anlage 7

Mudie (u.a.) (2007), Sex Ratio in the Offspring of Parents with Chronic Radiation Exposure from Nuclear Testing in Kazakhstan, in: Radiation Research 2007, Volume 168, S. 600-607

Anlage 8

Mudie (u.a.) (2010), Twinning in the Offspring of Parents with Chronic Radiation Exposure from Nuclear Testing in Kazakhstan, in: Radiation Research 2010, Volume 173, S. 829-836

Anlage 9

