Wendland-Gutachten

Gutachten zum Phänomen der „Verlorenen Mädchen“ und zur Freisetzung sekundärer Radioaktivität durch Neutronenstrahlung an Castorbehältern

im Auftrag des Landkreises Lüchow-Dannenberg

Oktober 2014

Dipl.-Ing. Ralf Kusmierz
Dr. Hagen Scherb
Dr. Kristina Voigt

Helmholtz Zentrum München
Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt
Institute of Computational Biology - ICB

1 Inhaltsverzeichnis

Gutachten zum Phänomen der „Verlorenen Mädchen“ und zur Freisetzung sekundärer Radioaktivität durch Neutronenstrahlung an Castorbehältern.....1

1 Inhaltsverzeichnis.....2

2 Grund der Auftragserteilung, Zweck und Ziel der Untersuchung.....3

2.1 Das Zeitalter der anthropogenen Freisetzung ionisierender Strahlung..... 4

2.2 Erbgutschädigende Wirkung ionisierender Strahlung..... 5

2.3 Kritik am strahlenbiologischen Kenntnisstand..... 6

2.4 Kenntnisstand aus Sicht der Autoren..... 8

2.5 Befunde an unterschiedlichen Anlagen..... 12

3 Problemfall Transportbehälterlager 14

3.1 Indizien für die Hypothese der sekundären Aktivitätsfreisetzung..... 14

3.2 Erklärungsansätze: Aktivierungsprodukte, Skyshine-Effekt..... 15

4 Lösungsansätze.....19

4.1 Vorschläge für Sofortmaßnahmen..... 19

4.2 Vorschläge für weitere Untersuchungen..... 20

5 Zusammenfassung 21

6 Fazit.....22

7 Anhang – Aktivierbarkeit der Luft.....23

7.1 Zusammensetzung der Luft..... 23

7.2 Aktivierbarkeit der gasförmigen Luftbestandteile..... 24

7.3 Aktivierung von Partikeln..... 28

7.4 Neutronenquellen..... 31

8 Literatur 34

9 FactSheet Gorleben.....42

10 FactSheet Remlingen 57

2 Grund der Auftragserteilung, Zweck und Ziel der Untersuchung

Die Autoren des Gutachtens befassen sich mit genetischen Effekten nach radioaktiven Immissionen und in der Umgebung kerntechnischer Anlagen. Anhand der amtlichen Geburtenzahlen nach den niedersächsischen Gemeinden hatten oder haben sie dabei in der Region des Landkreises Lüchow-Dannenberg eine erhebliche Zunahme des Anteils der männlichen Geborenen festgestellt. Der Beginn dieses Anstiegs fiel zeitlich mit der Aufnahme des Einlagerungsbetriebs von Behältern mit hochaktiven, wärmeerzeugenden radioaktiven Abfällen im Transportbehälterlager Gorleben zusammen.

Die niedersächsische Landesregierung hatte daraufhin das Niedersächsische Landesgesundheitsamt (NLGA) beauftragt, dieses Phänomen zu untersuchen. Unter Hinzunahme der den Autoren, die zuvor nur Zahlen nach niedersächsischen Gemeinden verwendet hatten, noch nicht bekannten Geburtenzahlen nach den Gemeinden der an den Landkreis angrenzenden Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Sachsen-Anhalt konnte das NLGA die Befunde bestätigen und feststellen, daß der gefundene Umgebungseffekt gleichermaßen außerhalb Niedersachsens, teilweise sogar in höherer Intensität, auftritt. Eine Ursache für das Phänomen konnte das NLGA nicht angeben. Daraufhin beschloß der Kreistag des Landkreises Anfang 2014, selbst weitere Expertisen zum Thema einzuholen.

In diesem Gutachten werden, analog zu den Befunden über gesundheitliche Effekte der Immissionen radioaktiver Stoffe sowie der Nähe zu kerntechnischen Anlagen andernorts:

- Evidenzen für eine Kausalität des Einlagerungsbetriebs von Lagerbehältern für hochaktive radioaktive Abfälle für die Geschlechtseffekte aufgezeigt,
- Physikalische Wirkungsmechanismen als mögliche Auslöser der biologischen Effekte angegeben sowie
- Maßnahmen zum Schutz gegen von den Lagerbehältern ausgehende gesundheitsschädigende Einflüsse vorgeschlagen.

2.1 Das Zeitalter der anthropogenen Freisetzung ionisierender Strahlung

Zwei Entdeckungen markieren den Beginn der Belastung der Menschen mit anthropogen freigesetzter ionisierender Strahlung:

- Die Entdeckung der Röntgenstrahlen durch Wilhelm Conrad Röntgen im Jahr 1895 (erster Nobelpreis für Physik überhaupt im Jahr 1901).
- Die Entdeckung der natürlichen Radioaktivität durch Antoine-Henri Becquerel im Jahre 1896 (Nobelpreis für Physik 1903 gemeinsam mit Marie und Pierre Curie).

Diese Entdeckungen führten zu vielfältigen technischen und medizinischen Nutzungen und dazu, daß seit ca. dem zweiten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts die Menschheit in zunehmendem Umfang ionisierenden Strahlen ausgesetzt wurde - davor war das nur in geringerem Maße beispielsweise durch Radon in Bergwerken und oberflächennahe Uranvorkommen, wie zum Beispiel das leicht verwitternde Uranmineral Heinrichit, der Fall.

Die hauptsächliche Strahlenbelastung ergab sich aus Röntgenreihenuntersuchungen bei Soldaten und zur Tuberkulosediagnose, daneben wurden radioaktive Präparate zur radiologischen Behandlung und als Stärkungsmittel hergestellt und verabreicht, ferner wurde in erheblichem Umfang radioaktive Leuchtfarbe (Ziffernblätter von Uhren, Orientierungsstreifen in Bunkern) verwendet.

Ein weiterer Belastungsschub ergab sich nach der Entdeckung der Kernspaltung und der Möglichkeit der Erzeugung von Kettenreaktionen in Kernreaktoren und Nuklearsprengsätzen ab den Vierziger Jahren des Zwanzigsten Jahrhunderts, aus dem stark gesteigerten Uranabbau und den Rückständen der Uranaufarbeitung sowie der Freisetzung großer Mengen radioaktiver Reaktionsprodukte der Kernspaltung in die Umwelt.

2.2 Erbgutschädigende Wirkung ionisierender Strahlung

Der erste bekannte Fall einer Körperschädigung durch künstlich erzeugte ionisierende Strahlung wurde bereits am 5. Mai 1897 in der Electrical Review beschrieben: Nikola Tesla berichtet unter dem Titel "On the Hurtful Actions of Lenard and Roentgen Tubes" über Verletzungen und therapeutische Anwendungen von Röntgen- und Betastrahlen. Dort werden Symptome beschrieben, die heute unter den Begriffen „Röntgenkater“ und „Betaverbrennungen“ bekannt sind.
(http://www.rastko.rs/projekti/tesla/delo/10783)

In den folgenden Jahrzehnten häuften sich Berichte über Krankheits- und Todesfälle durch ionisierende Strahlung, und es gab Bestrebungen zur Etablierung von Strahlenschutzstandards. Der spätere Nobelpreisträger für Physiologie oder Medizin (ausgezeichnet 1946) Hermann Joseph Muller wies 1927 die mutagene, d. h. erbgutschädigende Wirkung, von ionisierender Strahlung nach. Er beobachtete bei Experimenten mit Taufliegen unter anderem eine Veränderung im Zahlenverhältnis der Geschlechter bei den Nachkommen bestrahlter Fliegen.

In den Fünfziger Jahren war das Risiko der Schädigung des Genoms, also die Wahrscheinlichkeit für genetische Schäden durch ionisierende Strahlung, insbesondere in Folge des Betriebs kerntechnischer Anlagen, eine wissenschaftlich allgemein akzeptierte Tatsache (UNSCEAR 1958, Annex H: The Genetic Effects of Radiation):

„Lethal mutations may be revealed in four ways:

(a) Increase in frequency of miscarriages (virtually impossible to determine with certainty);

(b) Increase in frequency of still-births (much more feasible but subject to the demographic considerations mentioned in connexion with neo-natal mortality);

(c) Reduction in fertility, or even sterility (virtually impossible to measure in man);

(d) Disturbance in the ratio of the sexes at birth (deviation in the sex-ratio, an easily observable criterion).”

Es wurde also demnach schon frühzeitig erkannt und einschlägig publiziert, daß anhand eines beobachtbaren Anstiegs der Totgeburtlichkeit und der Fehlbildungen

sowie einer Veränderung des Geschlechtsverhältnisses bei der Geburt auf letale Mutationen beim Menschen geschlossen werden kann. Horst Traut (1969) gab dementsprechend quantitative Ableitungen der Mutationshäufigkeit aus der beobachteten Veränderung des Geburtengeschlechterverhältnisses an; er bezieht sich dabei auf die grundlegende Arbeit von Schull und Neel (1958). Schull und Neel (1956) haben einen Anstieg im Geschlechtsverhältnis nach den Atombombenabwürfen in Japan und insbesondere in Hiroshima und Nagasaki dokumentiert. Nach radioaktiven Depositionen aus Kernwaffenexplosionen und Nuklearunfällen wurden genetische Effekte postuliert und Anstiege der Totgeburtlichkeit und der Säuglingssterblichkeit beobachtet (Lüning 1963, Sternglass 1971, Lüning et al. 1989). Diese gehen mit verzerrten Geschlechterverhältnissen einher: Die Anzahl der gestorbenen männlichen Föten und Säuglinge übertrifft die der weiblichen nach solchen Vorfällen stärker als sonst.

2.3 Kritik am strahlenbiologischen Kenntnisstand

In der Diskussion um strahleninduzierte genetische Effekte (Fehlbildungen, Totgeburten, Geschlechterverhältnis bei der Geburt) wird häufig der Begriff „gegenwärtiger strahlenbiologischer Kenntnisstand“ verwendet. Es ist zu kritisieren, daß es sich dabei tatsächlich um ein nur vermeintliches, seit Jahrzehnten veraltetes falsches „Wissen“ handelt. Mittlerweile ist es nämlich in vielen epidemiologischen Studien gelungen, die Wirkung von Niedrigdosisstrahlung zweifelsfrei nachzuweisen. Die Verdoppelungsdosen für angeborene Fehlbildungen (genetische Effekte, zum Beispiel Down-Syndrom) liegen in der Größenordnung von 1 Millisievert pro Jahr (mSv/a), und das Geschlechtschancenverhältnis (sex odds ratio) pro mSv/a liegt bei 1,015 (Scherb und Voigt 2007, Sperling et al. 2012). Dem muß man gegenüberstellen, daß das Wissenschaftliche Komitee der Vereinten Nationen für die Wirkung von Atomstrahlung UNSCEAR (2001) von einem relativen Risiko pro Gray (Gy) für Fehlbildungen von 1,033 ausgeht. Das entspricht etwa einer Verdoppelungsdosis von 20 Gray: “The estimate of risk for congenital abnormalities is about 2,000 cases per million live births (compared to 60,000 cases per million live births)”. Damit wird das Risiko durch Niedrigdosisstrahlung in Bezug auf Fehlbildungen (congenital abnormalities) nach dem sogenannten „strahlenbiologischen Fachwissen“ um den Faktor 20 000 unterschätzt. Weil sich UNSCEAR (2001) auf ältere Tierversuche mit für genetische Fra-

gestellungen viel zu kleinen Stichproben bezieht, verwundert das nicht. Kanzerogenese wird durch Mutation von genetischem Material hervorgerufen, insbesondere gelten strahleninduzierte DNA-Schäden in der Fetalentwicklung als Kausalfaktoren der frühkindlichen Leukämie. Offenbar leidet die Risikobewertung der Strahlengenetik und der Strahlenkanzerogenese unter einer grundlegenden Fehleinschätzung der strahlengenetischen Realität und Risiken. Vor diesem Hintergrund ist die feste Überzeugung der zuständigen Behörden sowie der politischen Entscheidungsträger im Rahmen des „strahlenbiologischen Kenntnisstandes“, die Strahlenbelastung um Nuklearanlagen sei zur Erklärung eines erhöhten Krebsrisikos oder eines veränderten Geschlechterverhältnisses um Größenordnungen zu klein, nicht nachvollziehbar und verfehlt.

Bereits die Begrifflichkeit „Äquivalentdosis“ ist fragwürdig: Physikalisch meßbar und wohldefiniert ist lediglich die in Gray (Gy) gemessene Energiedosis. Für die biologische Wirkung wird eine Äquivalentdosis mit der Einheit „Sievert“ (Sv) definiert, die angeben soll, daß die biologische Wirkung einer bestimmten Strahlung genauso groß ist wie die einer Referenzstrahlung, die die gleich große Energiedosis in Gray vermittelt. Implizit steckt darin die Annahme, daß die Dosis-Wirkungs-Beziehung linear ist und Äquivalentdosen einfach addiert werden dürfen. Eine homogene Strahlenbelastung liegt aber nur bei äußerer Bestrahlung mit lockerionisierender Strahlung vor. Die Korpuskularstrahlung aufgenommener oder im Körper gebildeter Radioaktivität hat aber im Gewebe eine Reichweite, die teilweise kleiner als die Abmessungen einer Zelle ist. Damit hängt die biologische Wirkung entscheidend davon ab, wo genau im Gewebe bzw. in der Zelle sich die Radionuklide befinden. Die biologische Wirkung ionisierender Strahlung ergibt sich im wesentlichen durch die Störung der Steuerungszentren für die Zellaktivität, nämlich die Beschädigung der Chromosomen des Zellkerns. Dafür ist aber innerhalb relativ kurzer Zeit ein „Doppeltreffer“ innerhalb eines kleinen Bereichs eines Chromosoms erforderlich, der beide komplementäre Bestandteile eines Basenpaars eines Doppelstrangs beschädigt, weil die Zelle einfache Chromosomenschäden in der Regel reparieren kann. Ausnahme ist der verwundbarere Zustand während der Teilung des Zellkerns, wenn bei der Replikation der DNA ungepaarte Basen vorliegen - das ist häufiger der Fall bei schnell wachsendem, z. B. embryonalem Gewebe oder bei der Bildung von Gameten und

erklärt die höhere Empfindlichkeit des Embryos gegenüber Bestrahlung. Ebenso wird malignes Gewebe durch ionisierende Strahlung stärker geschädigt als gesundes, was Grundlage der Bestrahlungstherapie bei Krebserkrankungen ist. Bei niedrigen Dosisleistungen verhält sich die Wahrscheinlichkeit für solche Mehrfachschädigungen aber nicht linear zur Dosis, sondern in etwa quadratisch. Damit ist die herkömmliche Annahme über die Meßbarkeit von Strahlenwirkungen vom Prinzip her falsch bzw. höchstens für vergleichsweise hohe Dosisleistungen, wie sie z. B. bei medizinischen Strahlenanwendungen auftreten, gültig. Zudem ist die Empfindlichkeit gegenüber ionisierenden Strahlen von der individuellen Suszeptibilität abhängig und kann unter anderem durch Medikamente beeinflußt werden.

2.4 Kenntnisstand aus Sicht der Autoren

Nachdem Scherb et al. (1999, 2000) den Anstieg des Anteils der Jungen bei der Perinatalmortalität nach der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl beobachtet hatten, stellten sie sich die Frage, ob sich ein entsprechender Effekt auch bei der sehr viel größeren Anzahl der Lebendgeborenen statistisch nachweisen ließe. Dabei ist nicht davon auszugehen, daß das Überwiegen der männlichen gestorbenen Kinder auf deren höhere Empfindlichkeit gegenüber ionisierender Strahlung zurückzuführen sein müßte, im Gegenteil geht ein erheblich höherer Anteil der geschädigten Embryonen bereits in einer sehr frühen Schwangerschaftsphase zugrunde und wird klinisch nicht auffällig. Die kurz vor oder nach der Geburt gestorbenen Kinder sind vielmehr die widerstandsfähigeren, die zunächst noch nicht so stark geschädigt waren, aber dann letztlich doch zu schwach zum Überleben waren, und dabei überwiegen die Jungen deswegen, weil sie gegenüber der Wirkung ionisierender Strahlung in der Zeit um die Empfängnis unempfindlicher sind als die weiblichen Embryos. Entsprechend ist auch ein relativer Anstieg der Fehlbildungen und Entwicklungsstörungen bei den lebenden Jungen zu erwarten. Im Bayerischen Fehlbildungsdatensatz beträgt das Geschlechterverhältnis 1,4 (Scherb und Voigt 2014). Diese Vorstellungen sind verträglich mit der Annahme einer höheren Mutationsrate beim weiblichen Geschlecht, die nach Strahlenbelastung aufgrund differentieller letaler Mutationen zu einem erhöhten Geschlechtsverhältnis bei der Geburt führt (Scherb und Sperling 2012).

Der relative Mangel an weiblichen Embryonen müßte sich aber auch bei den Lebendgeborenen wiederfinden, und in der Tat beobachteten die Autoren abhängig von der Höhe der radioaktiven Exposition, diese gemessen an der Stärke der Bodenkontamination mit radioaktivem Cäsium, einen im Langzeitvergleich auffälligen Geburtenüberschuß bei den Jungen (Scherb und Voigt 2007). Da der Effekt relativ klein ist, im Normalfall werden ca. 105 Jungen pro 100 Mädchen geboren, dieses Verhältnis wurde unter dem Einfluß der Immissionen nur um Bruchteile von Prozenten erhöht, ist eine hohe Fallzahl erforderlich, um ihn mit der erforderlichen statistischen Sicherheit nachweisen zu können. Scherb und Voigt zogen deswegen die Gesamtgeburtenzahlen von Europäischen Ländern für ihre Untersuchungen heran (Scherb und Voigt 2007, 2011).

Ein anderer Schädigungseffekt ionisierender Strahlung ist die Krebsinduktion. Insbesondere bei Kindern sind Krebserkrankungen extrem selten; eine Erhöhung der Inzidenz ist deswegen ein Alarmzeichen. Es gab immer wieder Berichte über erhöhte Kinderkrebsraten im Zusammenhang mit kerntechnischen Anlagen, die wiederum regelmäßig von Behörden und Industrievertretern oder mit diesen verbundenen Radiologen bestritten wurden. Zur Klärung dieser Frage entschloß sich das Bundesamt für Strahlenschutz, eine Studie über die Untersuchung von Kinderkrebsfällen in der Umgebung von Kernkraftwerken (KiKK-Studie) in Auftrag zu geben. Anhand der Daten des Mainzer Kinderkrebsregisters konnten die Auftragnehmer zeigen, daß die Häufigkeit von kindlichen Krebserkrankungen signifikant negativ mit dem Abstand der Wohnung vom nächstgelegenen Kernkraftwerk korreliert ist, also in der Nähe von Kernkraftwerken ein höheres Erkrankungsrisiko vorliegt. Eine anderer Risikofaktor dafür als der räumliche Abstand konnte trotz entsprechender Untersuchungen nicht gefunden werden.

In Kenntnis dieser Fakten bot es sich an, zu untersuchen, ob die Nähe kerntechnischer Anlagen ebenso wie die großflächigen Immissionen aus katastrophalen Radioaktivitätsfreisetzungen zu einem geburtengeschlechtsspezifischen Effekt führt. Ein solcher Effekt müßte allerdings, um statistisch nachweisbar zu sein, quantitativ erheblich stärker als die vergleichsweise kleinen Fallout-Effekte sein, weil nur ein rela-

tiv kleiner Anteil der Geborenen bzw. deren Müttern in der Nahumgebung kerntechnischer Anlagen lebt.

Wie bei der Kinderkrebsstudie ist ein solcher starker Effekt tatsächlich vorhanden und auch für die Abstandsbeziehung zu kerntechnischen Anlagen spezifisch. Diese Ergebnisse beruhen auf der Untersuchung von ca. 80 Millionen Geburten auf Gemeindeebene in Deutschland, Frankreich, Österreich, Schweiz und in den Benelux-Staaten und haben eine statistisch belegbare Signifikanz, die wissenschaftlich nicht angezweifelt wird (Scherb, Kusmierz und Voigt 2013; Scherb, Voigt und Kusmierz 2014).

Ferner führen die betrachteten Immissionen ebenfalls zu signifikanten, mit der Belastungshöhe positiv korrelierten Anstiegen der Fälle von angeborenen Mißbildungen verschiedener Organe. Es kann also überhaupt nicht die Rede davon sein, daß radioaktive Emissionen aus kerntechnischen Anlagen im Rahmen der genehmigten Abgabemengen keine negativen gesundheitlichen Auswirkungen auf die betroffene Bevölkerung hätten. Zusammengefaßt fanden sich allein in Mitteleuropa nach den radioaktiven Immissionen aufgrund des Tschernobyl-Unfalls:

- eine Trendveränderung in der Perinatalmortalität,
- eine starke Verschiebung des Geschlechterverhältnisses bei den Totgeborenen und der Kindersterblichkeit,
- eine kleine, aber signifikante Zunahme des Anteils der männlichen Lebendgeborenen, der im regionalen und internationalen Vergleich quantitativ mit der Belastungshöhe positiv korreliert ist, und
- eine entsprechende Zunahme von angeborenen Fehlbildungen (Scherb und Voigt 2014).

Eine Zunahme der Krebsinzidenz von Erwachsenen in der Nähe von Nukleararanlagen ist hingegen bisher nicht nachgewiesen worden, was u. a. auch mit der schlechten Datenlage (weitgehendes Fehlen epidemiologischer Krebsregister), der langen Latenzzeit bis zum Auftreten klinischer Symptome und der vergleichsweise kleinen zu erwartenden Fallzahl bei grundsätzlich abnehmenden altersstandardisierten Inzidenzzahlen zu erklären ist. Allerdings wird seit einigen Jahrzehnten (insbesondere

nach Tschernobyl) eine kontinuierliche Zunahme der Fälle von Schilddrüsentumoren beobachtet; übrigens mit einem auffälligen Geschlechter-Bias: Die Inzidenzraten liegen bei den Frauen deutlich höher als bei den Männern (Muerbeth, Rousarova, et al. 2004).

Bei höheren Bestrahlungsdosen werden eine ganze Reihe weiterer klinisch auffälliger Befunde festgestellt, beispielsweise Wachstumsstörungen und Störungen der geistigen Entwicklung sowie Aufmerksamkeitsdefizite und Konzentrationsprobleme sowie eine erhöhte Anfälligkeit für Infektionskrankheiten. Das ist aber statistisch für niedrige Strahlungsdosen nicht nachweisbar, weil es keine entsprechende Datenbasis gibt - zu denken wäre beispielsweise an die Auswertung von Musterungsbefunden, bei denen eine größere Zahl von anthropometrischen Daten erhoben wird. Die Veränderung des Geburtengeschlechterverhältnisses ist also keineswegs die einzig vorstellbare Folge niedriger Strahlenbelastungen, sondern nur eine sozusagen zufällig gut meßbare.

In der Umgebung kerntechnischer Anlagen in Mitteleuropa wird

- ein signifikanter Anstieg der Kinderkrebsraten und
- eine gegenüber dem Tschernobyl-Effekt um etwa eine Größenordnung höhere Veränderung des Geburtengeschlechterverhältnisses auf Gemeindeebene festgestellt, ohne daß sich dafür andere Ursachen als die Nähe zu den Anlagen oder höhere als erlaubte Abgabemengen finden ließen.

Für die epidemiologisch beobachtbaren, statistisch signifikanten Effekte durch ionisierende Strahlung wurden verschiedene Erklärungsansätze vorgeschlagen. Tatsächlich sind die genauen Mechanismen aber noch immer weitgehend unbekannt, so daß man zunächst einmal auf die Signifikanz der Beobachtung vertrauen muß, um zu dem Schluß auf Kausalität zu kommen. Diese Signifikanz wird durch die empirischen Befunde allerdings sogar eher unterschätzt. Wir befinden uns zivilisatorisch bedingt nicht in einer quasi „natürlichen“ Umwelt, in der vor einem unbelasteten Hintergrund einige wenige singuläre kerntechnische Einwirkungen quasi „unter Laborbedingungen“ beobachtet werden können. Vielmehr ist die Menschheit seit etwa 100 Jahren einer über die natürliche Strahlenbelastung aus

kosmischen und terrestrischen Quellen deutlich hinausgehenden Belastung aus ionisierenden Strahlen ausgesetzt, die sich aus massenhaften medizinischen Röntgenaufnahmen und radioaktiven Belastungen aus verschiedenen Quellen ergeben. (Eine populärwissenschaftliche Übersicht gibt Catherine Caufield: Das strahlende Zeitalter – englisch-amerikanischer Originaltitel: Multiple Exposures. Chronicles of the Radiation Age – München 1994). Diese in der Verteilung und auch quantitativ nicht so genau bekannte Belastung führt hinsichtlich der zu untersuchenden Standorteffekte statistisch tendenziell zu einer unspezifischen Fehlklassifikation, die im Ergebnis eher zu einer systematischen Unterschätzung des zu untersuchenden Effekts führt (non-differential misclassification). Das ist auch bei der Frage nach Confoundern (Störfaktoren, Drittvariablen) zu beachten. Ein instruktives Beispiel ist das vor einigen Jahrzehnten in der Stadt Rotenburg/Wümme aufgetretene Leukaemiecluster, das einerseits typisch für Belastungen mit ionisierender Strahlung war, andererseits aber nicht mit einer kerntechnischen Anlage in Verbindung gebracht werden konnte, weil es dort keine gab. Nachforschungen zeigten, daß die betroffenen Personen eine radiologische Praxis aufgesucht hatten, in der sie offenbar unsachgemäß zu hohen Röntgenbestrahlungsdosen ausgesetzt waren. Entsprechend ist es denkbar, daß es in der Umgebung spezialisierter Behandlungszentren wie z. B. Universitätskliniken zu erhöhten Belastungen mit ionisierender Strahlung aus medizinischen Quellen kommt, einfach deswegen, weil diese Untersuchungsmöglichkeiten dort vorhanden sind und deswegen auch angewendet werden.

2.5 Befunde an unterschiedlichen Anlagen

Es ist nicht davon auszugehen, daß es für die beobachteten Befunde eine einheitliche Quelle radioaktiver Belastungen gibt. Bei katastrophalen Ereignissen wie nuklearen Unfällen oder atmosphärischen Kernwaffenexplosionen werden neben Spaltprodukten erhebliche Mengen an Kernbrennstoffen freigesetzt. Bei der bergbaulichen Gewinnung und der Aufbereitung der Uranerze werden wiederum die radioaktiven Substanzen aus den natürlichen Zerfallsreihen frei, vor allem Radium und Radon, aber auch Uranstaub, daneben tritt bei der Brennelementefertigung auch noch Plutonium aus der Wiederaufarbeitung auf. Aus laufenden Kernreaktoren werden gasförmige radioaktive Stoffe, vor allem betastrahlende Spaltprodukte, sowie radioaktive Aerosole an die Atmosphäre abgegeben, ferner werden auch radioaktive Ableitungen in die Gewässer registriert. Ein weiterer Belastungskomplex ergibt sich aus der Kon-

ditionierung und Lagerung radioaktiver Reststoffe. Bei allen diesen Anlagen sind die vorgenannten genetischen Effekte nachzuweisen. Angehängt an dieses Gutachten sind die **Factsheets Gorleben** und **Remlingen**. Für die Region um Gorleben ergibt sich relativ großräumig bis maximal ca. 40 km Entfernung vom Transportbehälterlager die höchste nachgewiesene Effektstärke im veränderten Geschlechterverhältnis deutschlandweit. Inventaremissionen sind keine bekannt. Hingegen findet sich am Standort Remlingen des Versuchsendlagers Asse II ein sehr kleinräumiger, praktisch auf die Stadt Remlingen selbst beschränkter Effekt, der zeitlich mit Tritiumemissionen aus der Schachtanlage korreliert zu sein scheint - wegen der relativ kurzen Halbwertszeit von Tritium von 11 Jahren haben diese während der Betriebszeit deutlich abgenommen. Für die Region der Samtgemeinde Asse wurde ein auffälliger Anstieg der Krebsfälle berichtet, der letztlich nicht aufgeklärt werden konnte. Auch die wahrscheinlichen Belastungspfade sind sehr unterschiedlich. Nach dem Tschernobyl-Unfall lassen sich regional unterschiedliche Befunde in Deutschland mit einer erhöhten terrestrischen Gammastrahlenbelastung aus deponiertem Fallout erklären. Hingegen weisen Befunde aus vom radioaktiven Niederschlag von Tschernobyl nicht betroffenen Kuba darauf hin, daß dort ein sehr starker Effekt durch den Verzehr aus der ehemaligen Sowjetunion importierter radioaktiv belasteter Lebensmittel aufgetreten ist (Scherb, Kusmierz und Voigt 2013). Das gleiche kann man für die Länder der Sowjetunion annehmen, da dort nach der Katastrophe darauf geachtet wurde, daß definierte Radioaktivitätsbelastungsgrenzwerte aus der Nahrung nicht überschritten wurden und zu diesem Zweck die radioaktiv kontaminierten Agrarprodukte gleichmäßig über das ganze Land verteilt wurden.

Diese unterschiedlichen Ausgangslagen zeigen, daß die physiologischen Mechanismen für die Veränderung des Geschlechterverhältnisses im einzelnen vermutlich sehr verwickelt sind und keinem einfachen Erklärungsmodell entsprechen - gemeinsam ist ihnen aber, daß das Phänomen fast immer korreliert mit dem Betrieb von Nuklearanlagen oder anderweitigen Belastungen mit radioaktiven Substanzen oder ionisierender Strahlung auftritt. Die sehr klaren, hochsignifikanten statistischen Befunde sind vor dem Hintergrund zahlreicher nuklearer Unfälle und im einzelnen nicht genau bekannter Radioaktivitätsfreisetzungen zu sehen, die ihrerseits zu statistischen Stör-

effekten führen. Dadurch ist vom Vorliegen der genannten non-differential misclassification auszugehen - wenn sich gleichwohl so eindeutige Befunde ergeben, dann ist das ein gewichtiger Hinweis auf sehr starke Effekte.

3 Problemfall Transportbehälterlager

3.1 Indizien für die Hypothese der sekundären Aktivitätsfreisetzung

Während es sich bei Kernreaktoren, Produktionsanlagen für Kernbrennstoffe sowie Immissionen aus Nuklearwaffentests und nuklearen Unfallereignissen zweifellos um potentielle Belastungsquellen für die Aufnahme von Radioaktivität handelt, ist eine Kausalität im Fall eines Zwischenlagers für hochaktiven Atommüll scheinbar nicht plausibel. Es gibt keinen Grund zu der Annahme, daß im Normalbetrieb radioaktives Inventar aus den Lagerbehälter in die Umwelt freigesetzt werden könnte. Zwar ist es denkbar, daß geringe radioaktive Tritiummengen innerhalb der Transportbehälter sowie deren Wänden durch Strahlung erzeugt werden und herausdiffundieren, aber dabei sind keine wesentlichen Aktivitätsfreisetzungen zu erwarten. Im Fall des Transportbehälterlagers Gorleben sind auch keine anderen potentiellen Emissionsquellen ersichtlich, schon gar keine, deren Emissionen zeitlich korreliert mit dem Einlagerungsbetrieb auftreten könnten.

Allerdings werden auf dem Gelände des Transportbehälterlagers nicht nur die Behälter für hochradioaktive Abfälle gelagert, sondern auch schwach- und mittelaktive radioaktive Rückstände. Theoretisch wäre es denkbar, daß es aus diesen Gebinden zu radioaktiven Freisetzungen gekommen sein könnte; Hinweise auf entsprechende Vorkommnisse sind aber nicht bekannt. Eine andere potentielle Quelle für radioaktive Belastungen wäre die Förderung von Erdgasvorkommen in der Region. Es ist bekannt, daß bei den entsprechenden Arbeiten häufig radioaktive Kontaminationen der verwendeten Geräte und Rohrleitungen auftreten sowie auch Radonfreisetzungen auftreten. Andererseits gibt es aber keinen Grund zu der Annahme, daß diese ausgerechnet zeitlich korreliert mit der Aufnahme des Einlagerungsbetriebs für Castorbehälter aufgetreten sein sollten. Daher gibt es die Vermutung, daß Radioaktivität am Transportbehälterlager nicht aus dem Inventar freigesetzt wird, sondern in der Umge-

bung der Behälter sekundär aufgrund der Einwirkung der aus den Behältern austretenden Neutronenstrahlung entsteht.

3.2 Erklärungsansätze: Aktivierungsprodukte, Skyshine-Effekt

Andererseits fällt es angesichts der durchgängigen konsistenten Befunde eines mit dem Betrieb von Nuklearanlagen oder mit radioaktiven Verseuchungen verzerrten Geburtengeschlechterverhältnisses und dessen Spezifität und Signifikanz sowie der qualitativen Übereinstimmung mit epidemiologischen Studien zur Krebsinzidenz schwer, anzunehmen, daß die in der Umgebung von Zwischenlagern für hochradioaktive Rückstände festgestellten Befunde nicht mit dem Betrieb der Zwischenlager in einem kausalen Zusammenhang stehen sollten (z. B. Philippsburg, Scherb et al. 2014). Es ist aber andererseits nicht zu bestreiten, daß Inventarfreisetzungen nicht nachgewiesen werden konnten und dementsprechend auch nicht plausibel sind. Die von den Lagerbehältern ausgehende Strahlung hat wiederum eine zu geringe Reichweite, um großflächige Effekte erklären zu können. Bei dieser Strahlung handelt es sich zum einen um von den Behältern emittierte Gammastrahlung, zum anderen um Neutronen, überwiegend mit sehr geringen (thermischen und epithermischen) Energien, deren Absorption sekundär ebenfalls Gammastrahlung freisetzt. Diese Strahlung entspricht grundsätzlich den Erwartungen für den Betrieb solcher Anlagen und wird im Rahmen des Genehmigungsverfahrens berücksichtigt bzw. unterliegt der Umgebungsüberwachung durch Betreiber und Aufsichtsbehörde. Das Kriterium ist dabei die Einhaltung rechtlich vorgegebener, konventioneller Strahlenschutzgrenzwerte. Wenn diese Grenzwerte auch begründet kritisierbar sind, so ist dennoch nicht zu verkennen, daß die Strahlenbelastung mit zunehmender Entfernung von der Anlage sehr rasch abnimmt und in jedem Fall in bewohnten Bereichen weit unterhalb der natürlichen Strahlenbelastung aus kosmischen und terrestrischen Quellen liegt.

Ein unbekannter Risikofaktor ist allerdings die potentielle Freisetzung schneller Neutronen im MeV-Bereich. Diese sollten bereits in den Behältern weitgehend abgeschirmt oder moderiert werden, jedoch wären Lücken in der Abschirmung denkbar. Die Messung solcher Neutronenstrahlung ist schwierig, vor allem, wenn sie anisotrop, etwa in schmalen Bündeln, abgestrahlt werden. Schnelle Neutronen können größere Entfernungen bis zur Absorption zurücklegen, vor allem treten sie in den Behältern in ungleich höheren Flußdichten als die niederenergetischen Neutronen

auf. Für schnelle Neutronen werden sehr hohe biologische Wirkungsfaktoren angenommen (Schmid 2004); prinzipiell wäre auch vorstellbar, daß sie direkt im Körper von Anwohnern Kernreaktionen verursachen bzw. Aktivierungsprodukte erzeugen.

Rolf Bertram stellte die Hypothese auf, daß es durch die Neutronenemissionen zu einer sekundären Radioaktivitätsbildung kommen, also Stoffe in der Umwelt durch die Neutronen aktiviert werden und dann in den menschlichen Körper gelangen könnten. Insbesondere Pflanzenpollen wurden als Vektoren sekundärer Aktivität vermutet. Grundsätzlich ist das Phänomen der Neutronenaktivierung bekannt. Physikalisch versteht man darunter, daß freie Neutronen als ungeladene Teilchen nicht durch einen Potentialwall daran gehindert sind, so dicht in die Nähe eines Atomkerns zu gelangen, daß sie dabei in die Reichweite der starken Kernkraft gelangen und in der Folge mit dem Atomkern verschmelzen, wobei die Bindungsenergie des Neutrons als Gammastrahlung freigesetzt wird. Der Atomkern erhält durch diesen Zuwachs ggf. einen Neutronenüberschuß und neigt dann dazu, diesen durch eine Beta-Emission abzubauen, wobei die Kernladungszahl um eins zunimmt; er wird instabil. Die Neutronenaktivierung führte beispielsweise bei Nuklearwaffentests auf See dazu, daß das Baumaterial von Zielschiffen im Einwirkungsbereich der Nuklearexplosion selbst so stark radioaktiv wurde, daß sie über Wochen nicht betreten werden konnten. Die Untersuchung der Aktivierbarkeit der Luftbestandteile zeigt, daß unter dem Einfluß des Neutronenstrahlungsfelds überraschend große Mengen radioaktiven Argons aus dem natürlichen Argonanteil der Luft gebildet werden. Das erzeugte radioaktive Argon 41 mit einer Halbwertszeit von 109 Minuten ist ein Edelgas, das von den Filtern der Meßgeräte der Umgebungsüberwachung, die auf den Nachweis von Spuren des eingelagerten radioaktiven Inventars ausgelegt sind, nicht aufgenommen wird und deswegen bei Labormessungen nicht nachweisbar ist, zudem zerfällt es auch zu schnell, als daß davon noch relevante Anteile bei der Untersuchung vorhanden wären. Die Hypothese der Partikelaktivierung ist bei den anzunehmenden Neutronenflüssen hingegen physikalisch nicht plausibel und muß zurückgewiesen werden, weil die in einem Partikel im theoretischen ungünstigsten Fall gebildete Aktivitätsmenge im Verhältnis zu natürlich vorkommenden Radioaktivitätsgehalten zu klein ist, um zu biologischen Wirkungen führen zu können. Zu den quantitativen Zusammenhängen siehe die Ausführungen im Anhang.

Unsere Argonhypothese (Kusmierz 2012) ist auch konsistent mit Beobachtungen, die aufgrund der natürlichen Radioargonbildung durch kosmische Strahlung in hohen Atmosphärenschichten zu erwarten sind. Es stellt sich deswegen die Frage, ob nicht ein erheblicher Teil der in der Umgebung von Kernreaktoren beobachteten Effekte tatsächlich überwiegend nicht auf die bekannten radioaktiven Emissionen aus dem Inventar der Reaktoren, sondern ebenfalls auf sekundärer Aktivitätsbildung durch Neutronenemissionen beruht. Anhaltspunkte dafür sind, daß die beobachteten Effekte nicht mit den bekannten Aktivitätsabgaben an Luft und Wasser und auch nicht der thermischen Leistung der Reaktoren skalieren, d. h. um die vergleichsweise leistungsschwächeren Forschungsreaktoren finden sich vergleichbar starke Effekte wie in der Umgebung von Leistungsreaktoren für die Stromerzeugung. Das wäre dadurch erklärbar, daß die Strahlenschutzmaßnahmen zur Abschirmung des Reaktors in allen Fällen so ausgelegt werden, daß es zu vergleichbar großen Reststrahlungsmengen außerhalb der Gebäude kommt. Der Maßstab für die Auslegung dieser Abschirmungen ist nicht die gesamte Neutronenfluenz aus der Anlage, sondern die Einhaltung der Strahlenschutzgrenzwerte in durch nicht beruflich exponierte Personen betretbaren Bereichen - der Luftraum über der Anlage ist dafür uninteressant. Es kam bei solchen Dimensionierungen auch zu Fehlern: Beispielsweise wurde beim AVR-Forschungsreaktor in Jülich offenbar vergessen, eine Neutronenabschirmung nach oben hin vorzusehen. Das fiel dadurch auf, weil die erzeugte sekundäre Gammastrahlung in der Umgebung des Reaktors am Boden zu einer Überschreitung der zulässigen Grenzwerte führte - die Umgebung wurde deswegen abgesperrt und das Betreten verboten. Später wurden provisorische Abschirmungen nachgerüstet.

Weitere Indizien sind die Auffälligkeiten von Befunden um Forschungseinrichtungen, die Neutronen für wissenschaftliche Forschungen verwenden (z. B. ILL Grenoble, s. Scherb et al. 2013). Zu diskutieren wäre hier die Existenz eines möglichen Skyshine-Effekts. In der Literatur werden im Zusammenhang mit dem Betrieb von Hochenergiebeschleunigern Strahlenschutzprobleme aufgrund hochenergetischer Partikel, darunter auch Neutronen, untersucht, die in mehreren hundert Metern Entfernung von der Anlage in hohen Luftschichten reflektiert und noch in größeren Entfernungen zu unzulässig hohen Strahlenbelastungen am Boden führen könnten. Die entsprechen-

den Schutzmaßnahmen beziehen sich dabei wiederum auf die Einhaltung der Strahlenschutzgrenzwerte bei direkter Bestrahlung von Personen und berücksichtigen nicht die Bildung sekundärer Aktivität. Die vorliegenden Daten legen nahe, daß es an Forschungsneutronenquellen unter Umständen zu erheblich größeren Effektreichweiten als bei Leistungsreaktoren oder Zwischenlagern kommen kann.

Grundsätzlich ist nicht sehr viel über die Neutronenemissionen von Lagerbehältern bekannt, weil die entsprechenden Messungen aufwendig sind; diesbezüglich wird auf Messungen der PTB verwiesen. Aus dem bekannten Inventar ergibt sich eine Abschätzung des Potentials, jedoch wird der größte Teil der erzeugten Neutronen nicht emittiert, sondern innerhalb des Behälters wieder absorbiert. Bei den erzeugten Neutronen handelt es sich prinzipiell immer um schnelle Neutronen. Diese haben vergleichsweise niedrige Wirkungsquerschnitte für Kernreaktionen und können deswegen schlecht abgeschirmt werden bzw. haben ein hohes Durchdringungsvermögen und auch hohe Reichweiten in Luft. Die Neutronen werden aber durch in und an den Behälterwänden angeordnete Moderatormaterialien (Kunststoffe) weitgehend auf thermische und epithermische Energien abgebremst. Dadurch steigt ihr Wirkungsquerschnitt deutlich an, und sie werden dann in der Anlage und im Nahbereich absorbiert. Die Auskleidung mit Moderatormaterial ist allerdings nicht lückenlos: Unter anderem im Bereich der Tragzapfen der Behälter können deswegen höhere Flußdichten auftreten und auch schnelle Neutronen austreten, ebenso an Spalten um die Moderatoreinlage im Deckelbereich.

Gemessene Flußdichten thermischer und epithermischer Neutronen lagen im Bereich bis ca. 100 Neutronen pro Quadratzentimeter und Sekunde; das sind vier Größenordnungen mehr als die aus natürlichen Quellen, vor allem der kosmischen Höhenstrahlung, herrührende Neutronenflußrate. Unbekannt ist, ob die von der PTB durchgeführten exemplarischen Messungen ein zutreffendes Bild der vorhandenen Neutronenstrahlung geben, oder ob es an den Behältern eventuell bisher unerkannte Neutronenstrahlungslecks gibt.

4 Lösungsansätze

4.1 Vorschläge für Sofortmaßnahmen

Empfehlungen:

- Prüfung einer Naßlagerung, also Abstellen in einem Becken mit ca. 8 m Wassertiefe.

  Bevor abgebrannte Brennelemente aus Kernkraftwerken abtransportiert werden, werden sie zunächst für mehrere Jahre unter Wasser in Abklingbecken gelagert. Bis zum gesetzlichen Verbot der Wiederaufarbeitung von Brennelementen war es in Deutschland üblich, sie anschließend in Transportbehälter für hochradioaktive Materialien zu verpacken und dann in Wiederaufarbeitungsanlagen im Ausland zu bringen. Nach dem Verbot der Wiederaufarbeitung ergab sich das Problem, diese Brennstäbe einzulagern. Dafür wurden, um politisch nicht gewünschte Atomtransporte zu vermeiden, an mehreren KKW-Standorten dezentrale Standortzwischenlager eingerichtet, in denen die den Abklingbecken entnommenen Brennelemente dann unter vergleichbaren Bedingungen wie im Transportbehälterlager Gorleben aufbewahrt werden. Seit der Inbetriebnahme der Standortzwischenlager finden sich nun Indizien für einen Anstieg des Anteils des männlichen Geborenen in deren Umgebung, wie z. B. um Philippsburg (Scherb, Voigt, Kusmierz 2014). Das läßt vermuten, daß die Naßlagerung im Abklingbecken den Nebeneffekt hat, die emittierten Neutronen aus den Brennstäben im Wasser zu absorbieren, und dadurch verhindert, daß sie in der Umgebungsluft Aktivierungsprodukte bilden können. Entsprechend ist zu erwarten, daß eine der Situation im Abklingbecken entsprechende Abschirmung mit wasserstoffhaltigen Materialien (simplerweise Wasser) zu einer Verhinderung der Bildung von Aktivierungsprodukten führen würde.
- Umbau des TBL auf eine luftdicht geschlossene Bauweise mit Zwangsluftumwälzung und Kühlung über Wärmetauscher, um den Austritt von Aktivierungsprodukten zu unterbinden.
- Massive Überbauung mit Schwerbetonplatten, um schnelle Neutronen abzuschirmen.

4.2 Vorschläge für weitere Untersuchungen

Maßnahmen am TBL und zur Umweltüberwachung:

- Der TÜV hatte Simulationsrechnungen zur Ermittlung der Neutronenflußdichte an der Anlagengrenze des TBL Gorleben durchgeführt. Bei diesen Rechnungen wird grundsätzlich die Flußdichte in jedem Volumenelement der Anlage ermittelt, jedoch wurden die Zwischenergebnisse nicht gespeichert, da nur nach der Strahlung außerhalb der Anlage gefragt war. Es wird empfohlen, diese Monte-Carlo-Simulationsrechnungen, aber diesmal unter Festhaltung der Zwischenergebnisse, für unterschiedliche Aufstellungen der Castoren zur Ermittlung der räumlichen Flußverteilungen wiederholen zu lassen. Daraus lassen sich dann die entstehenden Mengen an Aktivierungsprodukten genau ermitteln.
- Genaue Messungen der Flußverteilung zur Überprüfung der Simulationen.
- Direkte Messung von gas- und aerosolförmigen sekundären radioaktiven Emissionen, Wischproben, Aktivierungsproben.
- Rechnerische Ermittlung des Einflusses von zusätzlichen externen Moderator- und Absorberelementen auf das sich ausbildende Strahlungsfeld.
- Erweiterung der Umweltüberwachung durch flächendeckende Plazierung von Thermolumineszenzdetektoren (TLD) im Abstand bis 40 km vom TBL, ca. 1 Sensor/4km^2, also ungefähr 1250 Sensoren, monatliche Auslesung (Schmitz-Feuerhake et al. 1996).

Wissenschaftliche Untersuchungen:

- Biologische Dosimetrie (z. B. Chromosomenaberrationsanalysen) in der Umgebung des Transportberhälterlagers Gorleben sowie in ausgewählten Vergleichsregionen zur Feststellung von Strahlendosen und Effekten.
- Durchführung einer flächendeckenden Einzelpersonenstudie in der „Atomregion“ Braunschweig-Gorleben (in Nord-Süd-Richtung 200 km langer und in Ost-West-Richtung 100 km breiter Streifen) unter Einschluß von Schacht Konrad, Salzgitter, Wolfsburg und ERAM anhand der Meldedaten. Erfaßt werden sollen: Adreßgenaue Wohnorte aller Frauen, Geburtsdaten, Zuzugszeitpunkte, inländische Herkunftsadressen bei Zuzug, Geburtsdaten und Geschlecht ihrer

Kinder sowie deren evtl. Sterbedatum. Ziel ist, festzustellen, ob es Clusterbildungen oder einen F_2-Effekt gibt, also ein unterschiedliches Geschlechterverhältnis der Kinder von Frauen, die selbst in der Region bzw. an Standorten geboren wurden, gegenüber zugezogenen Frauen aus unbelasteten Regionen.

- Untersuchung der Wirkung von inhaliertem Radioargon auf die Fertilität im Tierversuch.

5 Zusammenfassung

Es ist hervorzuheben, daß ionisierende Strahlung bereits in einem Extremniedrigdosisbereich negative Wirkungen zeigt. Niedrigdosiseffekte und nicht-monotone Dosis-Wirkungs-Beziehungen sind aufgrund der zahlreichen dokumentierten Effekte plausibel. Aus diesem Grund müssen die internationalen und nationalen Grenzwerte im Strahlenschutz für diesen Bereich überarbeitet und gesenkt werden.

Die mutagene beziehungsweise kanzerogene Wirkung von anthropogener Radioaktivität ist seit Jahrzehnten bekannt. Zahlreiche Studien belegen die negativen Auswirkungen von ionisierender Strahlung auf Umwelt, Tiere und Menschen. Das Geschlechtsverhältnis bzw. seine Änderung ist ein Indikator für die mutagene Wirkung der anthropogenen Radioaktivität. Die Vorteile unserer Geschlechtsverhältnisstudien sind die hohe Fallzahl und die relativ einfache und vollständige Datenerhebung. Alle durchgeführten und im Literaturverzeichnis zitierten entsprechenden Studien kommen zum Ergebnis, daß das Geschlechtsverhältnis um Kernkraftwerke, Forschungsreaktoren und insbesondere um Lager und Deponien für radioaktive Abfälle erhöht ist. Unsere Ergebnisse für Gorleben wurden unabhängig durch das Niedersächsische Landesgesundheitsamt (NLGA) bestätigt und international publiziert (Scherb und Voigt 2012). Es ist aus der Sicht der Autoren unverständlich und unverantwortlich, daß zuständige Länder- und Bundesbehörden, soweit öffentlich bekannt, bisher keine weiteren Untersuchungen eingeleitet haben. Im Sinne des Schutzes von Mensch und Umwelt müssen die zuständigen Behörden reagieren. Sofortmaßnahmen, wie in

dieser Studie beschrieben, und weitere Untersuchungen sind neben dem Stopp von weiteren Einlagerungen nach bisheriger Praxis von höchster Priorität.

6 Fazit

Die Autoren sind aufgrund der Studien zu Gorleben sowie zahlreichen anderen Untersuchungen in Europa mit ähnlichen Befunden der festen Überzeugung, daß alle kerntechnischen Anlagen, insbesondere die Lager für radioaktive Abfälle, einen Effekt in Richtung der Zunahme des Anteils der männlichen Geburten hervorrufen. Dieser genetische Effekt ist ein klarer Beleg für das Auftreten von letalen Mutationen beim Menschen (UNSCEAR 1958) in der Nähe von Nuklearanlagen.

7 Anhang – Aktivierbarkeit der Luft

7.1 Zusammensetzung der Luft

Luft besteht hauptsächlich aus den Gasen Stickstoff (N_2), Sauerstoff (O_2), Argon (Ar) und witterungsabhängig aus unterschiedlichen Anteilen von Wasserdampf (ca. 1 %) sowie Spurengasen. Ferner enthält Luft variable Anteile von Staub und Aerosolen aus natürlichen und künstlichen Quellen. Der natürliche Staubanteil besteht aus sog. Sea spray, das sind Salzkristalle aus eingetrockneten Meerwassertröpfchen, die durch den Wind in die Atmosphäre gelangt sind, mineralischen Verwitterungsprodukten und Rauch aus (natürlichen) Verbrennungsvorgängen, z. B. durch Blitzschlag verursacht, sowie vulkanischen Emissionen.

Typische bodennahe Zusammensetzung der gasförmigen Anteile der Luft:

Verbindungen		**Volumenprozent**	
		trocken	**feucht**
Stickstoff	N_2	78,084000	77,066024
Sauerstoff	O_2	20,942000	20,668980
Argon	Ar	0,934000	0,921824
Wasserdampf	H_2O	-------	1,300000
Kohlenstoffdioxid	CO_2	0,041000	0,040465
Neon	Ne	0,001818	0,001794
Helium	He	0,000524	0,000517
Methan	CH_4	0,000176	0,000174
Krypton	Kr	0,000114	0,000113
Wasserstoff	H_2	0,000050	0,000049
Distickstoffoxid	N_2O	0,000032	0,000031
Kohlenstoffmonoxid	CO	0,000020	0,000020
Xenon	Xe	0,000009	0,000009
Summe		**100,003742**	**100,000000**

Der Gehalt der Luft an Kohlenstoffdioxid ist örtlich und zeitlich variabel. Aufgrund anthropogener Emissionen wurde hier für bodennahe Luft ein über dem durchschnittlichen atmosphärischen Gehalt von ca. 0,039 % liegender Gehalt von 0,041 % angenommen. Die Zahlen für feuchte Luft wurden aus denen für trockene Luft unter der Annahme eines Wassergehalts von 1,3 Volumenprozent - ca. 0,8 Massenprozent, etwa 10 g Wasser pro Kubikmeter - berechnet. Der Wassergehalt ist sehr stark wetterabhängig und nimmt mit zunehmenden Lufttemperaturen erheblich zu.

7.2 Aktivierbarkeit der gasförmigen Luftbestandteile

Für die Neutronenaktivierbarkeit der Luftatome kommt es auf die isotopische Zusammensetzung der Elemente an, da jedes Nuklid ein eigenes Wechselwirkungsverhalten gegenüber Neutronenstrahlung aufweist. Aus der oben angegebenen Zusammensetzung feuchter Luft ergibt sich die folgende isotopische Zusammensetzung aufgrund der natürlichen Isotopenkonzentrationen der neun Elemente Stickstoff, Sauerstoff, Argon, Wasserstoff, Kohlenstoff, Neon, Helium, Krypton und Xenon, sowie deren Wirkungsquerschnitte und durch Neutronenaktivierung ggf. gebildeten Aktivierungsprodukte:

Liste der Isotope der atmosphärischen Luft und deren Aktivierbarkeit

Ordnungszahl	Name	Symbol	Massenzahl	Atom-prozent	Cross section absolute mbarn	Anteil Neutronen-absorption	Produkt	Halb-werts-zeit [s]
7	Stickstoff	N	14	76,62125	1830,05	95,52 %	^{14}C	1,81 e11
			14	76,62125	76,46	3,99 %	^{15}N	(stabil)
			15	0,28455	0,02	4,47 e-08	^{16}N	7,13 e00
8	Sauerstoff	O	16	21,26433	0,10	1,39 e-05	^{17}O	(stabil)
			17	0,00810	226,12	1,25 e-05	^{18}O	(stabil)
			18	0,04263	0,15	4,45 e-08	^{19}O	2,69 e01
18	Argon	Ar	36	0,00155	5129,25	5,42 e-05	^{37}Ar	3,03 e06
			38	0,00029	789,68	1,56 e-06	^{39}Ar	8,49 e09
			40	0,45811	651,90	0,20 %	^{41}Ar	6,56 e03
1	Wasser-stoff	H	1	1,29750	307,93	0,27 %	^{2}H	(stabil)
			2	0,00019	0,40	5,36 e-10	^{3}H	3,89 e08
6	Kohlen-stoff	C	12	0,02006	3,90	5,33 e-07	^{13}C	(stabil)
			13	2,2316 e-04	1,47	2,24 e-09	^{14}C	1,81 e11
10	Neon	Ne	20	8,1032 e-04	35,13	1,94 e-07	^{21}Ne	(stabil)
			21	2,4173 e-06	654,60	1,08 e-08	^{22}Ne	(stabil)
			22	8,2545 e-05	44,99	2,53 e-08	^{23}Ne	3,72 e01
2	Helium	He	3	3,6127 e-10	4618513,48	1,14 e-08	^{4}He	(stabil)
			4	2,5805 e-04	0,00	---	---	---
36	Krypton	Kr	78	1,9649 e-07	6359,36	8,51 e-09	^{79}Kr	1,26 e05
			80	1,2631 e-06	11726,93	1,01 e-07	^{81}Kr	7,23 e12
			82	6,5122 e-06	28824,77	1,28 e-06	^{83}Kr	(stabil)
			83	6,4561 e-06	183895,51	8,09 e-06	^{84}Kr	(stabil)
			84	3,2000 e-05	112,33	2,45 e-08	^{85}Kr	3,40 e08
			86	9,7122 e-06	2,98	1,97 e-10	^{87}Kr	4,58 e03
54	Xenon	Xe	124	4,2844 e-09	164338,67	4,80 e-09	^{125}Xe	6,08 e04
			126	3,8559 e-09	3486,19	9,16 e-11	^{127}Xe	3,15 e06
			128	8,1831 e-08	7968,93	4,44 e-09	^{129}Xe	(stabil)
			129	1,1311 e-06	20919,07	1,61 e-07	^{130}Xe	(stabil)
			130	1,7566 e-07	25900,57	3,10 e-08	^{131}Xe	(stabil)
			131	9,0828 e-07	84677,42	5,24 e-07	^{132}Xe	(stabil)
			132	1,1525 e-06	448,31	3,52 e-09	^{133}Xe	4,53 e05
			134	4,4557 e-07	264,02	8,01 e-10	^{135}Xe	3,29 e04
			136	3,8131 e-07	259,05	6,73 e-10	^{137}Xe	2,29 e02

Blau hervorgehoben sind instabile Anlagerungsprodukte mit Halbwertszeiten unter einer Minute. Diese haben keine radiologische Relevanz, da sie aufgrund der anzunehmenden Transportzeit bis zum Erreichen von Personen weitgehend zerfallen sind. Die instabilen Anlagerungsprodukte mit Halbwertszeiten > 1 min, die mit relevanten Aktivitäten auftreten können, sind **rot** hervorgehoben.

Die angegebenen Wirkungsquerschnitte für Neutronenabsorption (cross section) beziehen sich auf thermische Neutronen bei Labortemperatur und kalte Targets. Der tatsächliche Wirkungsquerschnitt hängt von der Relativgeschwindigkeit zwischen Neutron und Zielkern ab und verhält sich annähernd umgekehrt proportional zur Relativgeschwindigkeit zwischen beiden. Er hängt also vor allem von der Neutronenenergie ab und geht umgekehrt proportional zur Wurzel aus der Energie. Das kann man anschaulich dadurch erklären, daß die Wechselwirkungswahrscheinlichkeit proportional zur Aufenthaltsdauer des Neutrons in der Nähe des Kerns ist. Außer der Neutronengeschwindigkeit geht in die Relativgeschwindigkeit aber auch noch die thermische Bewegung des Zielkerns ein. Da die meisten Neutronen in der Umgebung nach ganz kurzer Zeit durch elastische Stöße mit Atomkernen der Luft auf die Umgebungstemperatur moderiert werden, ist die thermische Energie der Neutronen witterungsabhängig. Der effektive Wirkungsquerschnitt steigt bei einer Verringerung der Lufttemperatur um zehn Grad um ca. 1,7 % an.

Die Wahrscheinlichkeit für den Einfang eines Neutrons durch einen einzelnen Atomkern innerhalb einer Sekunde ist durch das Produkt aus Wirkungsquerschnitt und Neutronenflußdichte gegeben. Die Anzahl der in einem gegebenen Volumen eingefangenen Neutronen bzw. gebildeten Anlagerungskerne ergibt sich entsprechend aus der Anzahl der Kerne des betreffenden Nuklids im Volumen mal der Einfangwahrscheinlichkeit für einen Kern. Da die Dichte der Luft und damit die Anzahl der Atome im Volumen auch von Luftdruck und -temperatur abhängen, ist auch dadurch die Bildung der Anlagerungsprodukte witterungsabhängig.

Tabelle der prominenten an der Neutronenabsorption in Luft beteiligten Nuklide sowie der anteilig dabei entstehenden sekundären Radioaktivität

Ordnungszahl	Name	Symbol	Massenzahl	Atom-prozent	Anteil Neutronen-absorption	Produkt	Halb-wertszeit [s]	Aktivitäts-anteil HWZ > 1 min
7	Stickstoff	N	14	76,62	95,52 %	^{14}C	1,81 e11	1,70 e-05
			14	76,62	3,99 %	^{15}N	(stabil)	---
			15	0,28	4,47 e-08	^{16}N	7,13 e00	---
8	Sauerstoff	O	18	0,04	4,45 e-08	^{19}O	2,69 e01	---
18	Argon	Ar	36	0,0016	5,42 e-05	^{37}Ar	3,03 e06	5,77 e-05
			40	0,4581	0,20 %	^{41}Ar	6,56 e03	99,992 %
1	Wasserstoff	H	1	1,2975	0,27 %	^{2}H	(stabil)	---
6	Kohlenstoff	C	13	2,23 e-04	2,24 e-09	^{14}C	1,81 e11	---
10	Neon	Ne	22	8,25 e-05	2,53 e-08	^{23}Ne	3,72 e01	---
54	Xenon	Xe	136	3,81 e-07	6,73 e-10	^{137}Xe	2,29 e02	9,47 e-06

Demnach werden Neutronen in Luft überwiegend (zu 99,52 %) von Stickstoff 14 absorbiert, wobei ein sehr geringer Anteil von 1,7e-5 der gesamten erzeugten Aktivität mit Halbwertszeiten >1 min auf die Bildung von Radiocarbon (C-14) entfällt. Der Aktivitätsanteil des Radiocarbons ist wegen seiner langen Halbwertszeit von 5730 Jahren so gering wie angegeben. 0,2 bzw. 0,27 % der Neutronenabsorption entfallen auf Argon 40 bzw. die Deuteriumbildung aus Wasserstoffprotonen, die restlichen Nuklide sind vernachlässigbar. Auf das dabei gebildete Argon 41 mit einer Halbwertszeit von 109 min (1,82 h) entfällt der Großteil von über 99,99 % der nicht ganz kurzlebigen Aktivität. (Unter Berücksichtigung der kurzlebigen Aktivität des ^{16}N und ^{19}O machen diese noch zusätzliche Anteile von 1,97 % bzw. 0,519 % an der gebildeten Gesamtaktivität aus.)

Somit besteht die in den Luftbestandteilen durch Neutronenaktivierung gebildete sekundäre Radioaktivität fast vollständig aus Argon 41. Trotz dessen hoher Aktivität ist dessen Lebensdauer hoch genug, daß es mit Luftströmungen über erhebliche Distanzen verfrachtet werden kann. Bei einer Windgeschwindigkeit von 25 km/h werden innerhalb einer Halbwertszeit Entfernungen von ca. 40 km erreicht, was größenordnungsmäßig zu den beobachteten Effektreichweiten bei dem veränderten Geburtengeschlechterverhältnis paßt.

Man kann nicht davon ausgehen, daß sich die bodennahe Konzentration von freigesetzter Aktivität auf dem Transportweg sehr stark, etwa umgekehrt proportional zur Entfernung oder noch stärker, verdünnt. Tatsächlich bewegen sich Emissionen über eine erhebliche Strecke nach Art einer Rauchfahne in einem relativ schmalen Kanal, in dem die Konzentration vergleichsweise hoch bleibt, während im Bereich seitlich daneben kaum noch Immissionen vorhanden sind. Außerdem kann der nachfolgend beschriebene spezifische Mechanismus postuliert werden, der eine vertikale Diffusion verhindert bzw. sogar dafür sorgt, daß sich Radioargon insbesondere in unmittelbarer Bodennähe konzentriert:

Bei der Anlagerung eines Neutrons an einen ^{40}Ar-Kern wird die Bindungsenergie in Form von sekundärer Gammastrahlung mit einer Quantenenergie von 6,1 MeV frei. Mit der Emission des Gamma-Quants ist die Aufnahme eines Rückstoßimpulses verbunden; der Rückstoßkern nimmt dadurch eine Energie von ungefähr 0,49 keV an. Er wird dadurch stark ionisiert und kann deswegen zu einem Kondensationskeim für Tröpfchenbildung werden bzw. sich an vorhandene Wassertröpfchen anlagern. Insofern ist zu erwarten, daß gebildetes sekundäres Radioargon überwiegend in Wassertröpfchen eingeschlossen, also als Aerosol, vorliegt und nicht in atomarem gasförmigen Zustand - möglicherweise kann der ionisierte Argon-Kern sogar Edelgasverbindungen eingehen. Die Tröpfchen verhalten sich aber nicht wie ein Gas, sondern kommen insbesondere durch Vereinigung zu größeren Regentropfen bevorzugt in Bodennähe. Dadurch steigt die Konzentration im bodennahen Bereich, aus dem die Atemluft stammt, an. Die je nach Windrichtung und Wetterlage zeitweise erhöhten lokalen Radioaktivitätskonzentrationen könnten dann, wenn sie in einer vulnerablen Phase der Gameten- oder Embryonalentwicklung inhaliert werden, zu physiologischen Schäden führen, die das Absterben insbesondere der weiblichen Foeten verursachen.

7.3 Aktivierung von Partikeln

Man geht üblicherweise davon aus, daß eine Inkorporation von Radioaktivität in feinverteilter gasförmiger oder gelöster Form erfolgt und die interne Strahlenbelastung deswegen einigermaßen homogen verteilt auf das Gewebe einwirkt. Anders wäre das bei der Aufnahme von „heißen Teilchen“, bei denen eine große Anzahl radioaktiver Atomkerne in einem makroskopischen Partikel konzentriert vorliegen. Deshalb ist

zu bedenken, ob sich Staubpartikel, etwa, während sie an einer Transportbehälterwand anhaften, stark durch Aktivierung mit Radioaktivität sättigen und dann später ablösen und als Aerosolbestandteil vom Menschen aufgenommen werden könnten. Das wurde insbesondere für Pflanzenpollen vermutet, die in frischem Zustand an der heißen Behälterwand anhaften, dort austrocknen und dann später als Staubpartikel wieder freigesetzt werden könnten. Das ist jedoch aus folgenden Gründen nicht zu besorgen:

Zunächst einmal bestehen pflanzliche Substanzen ganz überwiegend aus den Elementen Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff, deren Verhalten bereits diskutiert wurde. Diese Elemente sind im Neutronenfluß nicht nennenswert aktivierbar und können also auch keine größeren Aktivitätsmengen akkumulieren.

Ferner kann man mit einer Worst-case-Betrachtung abschätzen, daß auch unter ungünstigen Bedingungen unter den vorliegenden Neutronenflußverhältnissen lungengängige Staubpartikel keine bedenklichen Aktivierungsmengen akkumulieren können:

Etwas entgegen der Intuition wird die gesamte freigesetzte Aktivitätsmenge durch ein Verweilen eines Stoffstroms im Bestrahlungsfeld nicht vergrößert, sondern verringert. Bei einer gegebenen Substanzmenge wird nämlich im Strahlungsfeld mit derselben konstanten Bildungsrate sekundäre Aktivität erzeugt. Diese kann hinsichtlich der Bevölkerungsdosis nur dann die maximale physiologische Wirkung entfalten, wenn sie kontinuierlich abtransportiert wird und schnellstmöglich vom Körper aufgenommen wird. Verweilt die aktivierte Substanz dagegen im Strahlungsfeld, dann wird insgesamt nicht mehr Aktivität gebildet, aber die bereits gebildete Aktivität zerfällt während dessen wieder. Im Extremfall, wenn der Aufenthalt der Substanz im Strahlungsfeld wesentlich länger dauert als die Halbwertszeit, stellt sich ein Zerfallsgleichgewicht ein: Die Aktivität wird dann so hoch, daß genauso viele radioaktive Atome in der Zeiteinheit nachgebildet werden wie zerfallen. In diesem Fall würde aber überhaupt keine sekundäre Aktivität emittiert: Alle entstandene Aktivität zerfällt vielmehr gleich an Ort und Stelle wieder. (Die realitätsnahe Annahme dabei ist, daß der Stoffumsatz bei

den stattfindenden Kernreaktionen so klein ist, daß sich die Ausgangsmenge an noch nicht umgewandeltem Edukt nicht merklich verringert.)

Nimmt man nun statt dessen an, daß sich die bestrahlte Substanz als Bestandteil eines Stoffstroms durch das Strahlungsfeld bewegt und die Anlage anschließend in die Umwelt hinein entläßt, dann wird aus der Anlage um so mehr Aktivität emittiert, je schneller sich der Stoffstrom bewegt. Im Extremfall ist der Durchsatz so rasch, daß der Zerfall der gebildete Aktivität in der Anlage vernachlässigbar ist und die gesamte erzeugte Aktivität emittiert wird.

Gleichwohl soll abgeschätzt werden, welche Aktivitäten in Partikeln, die längere Zeit im Strahlungsfeld verweilen, maximal erwartet werden kann. Willkürliche, bewußt ungünstig gewählte Annahmen:

Um auf hohe Aktivitäten zu kommen, soll die Atomkonzentration im Partikel hoch sein. Sie möge also bei einem mineralischen Feststoff 20 mol/kg (Atomgewicht 50) betragen. Die Dichte des Feststoffs sei 5000 kg/m^3. Dann beträgt die Atomkonzentration

$$c = N_{Av} * 5000\ kg/m^3 * 20\ mol/kg = 6e28\ Atome/m^3.$$

Ein großes Staubkorn möge einen Durchmesser von 10 µm haben; das entspräche größenordnungsmäßig einem Volumen von e-15 m^3 und einer Masse von 10e-12 kg = 10 ng, und es würde aus ca. N_0 = e14 Atomen bestehen. Als Neutronenflußdichte Phi werden 100 Neutronen pro Quadratzentimeter und Sekunde angenommen, alle Atome des Partikels seien aktivierbar und sollen einen hohen Wirkungsquerschnitt von sigma = 1000 Millibarn aufweisen. Die Bildungsrate beträgt dann

$$r = N_0 * sigma * Phi = e14 * e\text{-}28\ m^2 * e6\ n/(m^2 * s) = e\text{-}8/s$$

Das ist zugleich auch die Sättigungsaktivität von e-8 Bq im Zerfallsgleichgewicht, d. h. es würde ungefähr eine Kernumwandlung in drei Jahren auftreten.

Folgerung: Einzelne Staubkörner sind viel zu klein, um im Neutronenfluß der Castorbehälter nennenswerte Aktivitäten anzunehmen. Selbst ein Objekt im Milligrammbereich (Durchmesser 1 mm) käme auf höchstens 10 mBq. Das sind keine bedenklichen Aktivitätsmengen.

7.4 Neutronenquellen

Auf der Erdoberfläche sind natürliche Quellen von Neutronenemissionen außerordentlich selten. Für die Freisetzung von Neutronen gibt es grundsätzlich zwei Mechanismen:

1. Stöße hochenergetischer Partikel (z. B. α-Teilchen) mit geeigneten Zielkernen (Spallationsreaktionen)
2. Fissionen schwerer Kerne (i. a. Kernbrennstoffe). Fissionen können spontan oder induziert, also durch die Bestrahlung von Kernbrennstoffen mit Neutronen, auftreten.

Sowohl Spallationsreaktionen als auch spontane Fissionen (SF) kommen in Behältnissen für hochradioaktive Rückstände aus der Wiederaufbereitung von abgebrannten Kernbrennstoffen vor und sind zu etwa gleichen Teilen die Ursache der von diesen emittierten Neutronen. Grundsätzlich haben Neutronen bei ihrer Freisetzung durch Kernreaktionen vergleichsweise hohe Energien im MeV-Bereich (sogenannte schnelle Neutronen). Schnelle Neutronen haben keine hohe Wechselwirkung mit anderen Atomkernen, sie prallen vielmehr von diesen ohne wesentlichen Energieverlust ab und können deswegen auch dicke Abschirmschichten vergleichsweise leicht durchdringen; bei den Kollisionen mit schweren Kernen wird nur etwas Gammastrahlung freigesetzt**. In Luft können schnelle Neutronen deswegen auch hohe Reichweiten im Kilometerbereich aufweisen**. Eine vergleichsweise intensivere Wechselwirkung ergibt sich erst, wenn die Neutronen einen großen Teil ihrer Energie durch Stöße mit leichten Kernen (vor allem Wasserstoff) abgegeben haben und dadurch deutlich langsamer geworden sind. Um das zu erreichen, werden sie mit wasserstoffhaltigen Substanzen (Wasser, Kunststoffe) moderiert. Nach mehreren Stößen mit leichten Kernen erreichen sie so ein niedriges, „thermisches“ Energieniveau von ca. 30 meV und werden dann in Sekundenbruchteilen von Stoffen in der Umgebung absorbiert. Ihre Reichweite liegt dann in Luft nur noch in der Größenordnung von eini-

gen zehn Metern. Bei Absorption der Neutronen durch Anlagerung an Atomkerne wird die Bindungsenergie in der Größenordnung von einigen MeV als Gammastrahlung frei. Deswegen treten freie Neutronen immer zwangsläufig gemeinsam mit sekundärer Gammastrahlung auf.

Natürliches Gestein enthält nur relativ wenig neutronenemittierende Stoffe, und diese sind weitgehend nicht in der obersten belebten Bodenschicht enthalten. Deswegen ist der Anteil der freien Neutronen in der terrestrischen Strahlung vernachlässigbar. Im freien Weltraum kommen Neutronen wegen ihrer Instabilität - sie zerfallen mit einer Halbwertszeit von 10,2 Minuten in ein Elektron und ein Proton - ebenfalls kaum vor. Jedoch gibt es eine große Menge freier Neutronen in der atmosphärischen Höhenstrahlung. Diese werden innerhalb der Atmosphäre durch Spallationsreaktionen erzeugt, die von hochenergetischen Partikeln der kosmischen Strahlung, vor allem solaren und interstellaren Protonen, ausgelöst werden. Die Strahlungsintensität ist am Boden gering und nimmt mit zunehmender Höhe deutlich zu. Sie ist zugleich die hauptsächliche Ursache der überall nachweisbaren Gamma-Ortsdosisleistung (ODL), die stark höhenabhängig und im Gebirge entsprechend erheblich größer als im Flachland ist. Grundsätzlich gibt es keinen physikalischen Unterschied zwischen der durch kosmische Strahlung hervorgerufenen Neutronenstrahlung und der aus Lagerbehältern für radioaktive Rückstände austretenden. Entsprechend sind auch die gleichen Bildungsprozesse sekundärer Radioaktivität zu erwarten. Daher ist davon auszugehen, daß zumindest in großen Höhen auch erhebliche Mengen von Radioargon durch die natürliche Neutronenstrahlung erzeugt wird. Allerdings kann das nicht ohne weiteres in Bodennähe gelangen, da die vertikalen Austauschprozesse in der Lufthülle nicht so ausgeprägt sind wie horizontale Luftströmungen und es deswegen bereits weitgehend zerfallen ist, bevor es den Boden erreicht. Eine Ausnahme liegt aber bei Niederschlägen vor: Regentropfen haben eine Fallzeit von größenordnungsmäßig einer Viertelstunde von den Regenwolken in einigen Kilometern Höhe bis zum Boden - in dieser Zeit ist nur ein kleiner Anteil des ^{41}Ar zerfallen, es wird also durch Niederschläge ziemlich effektiv aus der oberen Atmosphäre in Bodennähe transportiert.

Interessanterweise beobachtet man eine räumliche und saisonale Korrelation zwischen Veränderungen des Geburtengeschlechterverhältnisses und der Nieder-

schlagsmenge mit einem Delay von ca. 10-11 Monaten, d. h. der Jungenanteil folgt der Niederschlagsmenge mit dieser Verzögerung. Das ist ein deutliches Indiz dafür, daß sowohl das in der Umgebung des Transportbehälters Gorleben auftretende erhöhte Geburtengeschlechterverhältnis wie auch die niederschlagsmengenkorrelierte globale Veränderung in beiden Fällen auf die gleiche physiologische Ursache zurückzuführen sein könnte, nämlich die neutroneninduzierte Bildung sekundärer Radioaktivität in Form von Radioargon, das gebunden an Wassertröpfchen inhaliert wird und sich im Körper dann auf die Bildung von Gameten auswirkt. Es darf allerdings nicht vergessen werden, daß sich die Atmosphäre in Schönwetterphasen auch mit Radon bzw. dessen radioaktiven Folgeprodukten anreichert, die zu Beginn einsetzender Niederschläge ausgewaschen und in Bodennähe gebracht werden. Deswegen steigt die von ODL-Sonden gemessene Gamma-Ortsdosisleistung mit aufkommenden Niederschlägen regelmäßig erheblich an.

Die Überlegungen zur Aktivierung von Luftgasen und Partikeln durch thermische Neutronen behandeln die Frage der Bildung sekundärer Radioaktivität nicht unbedingt erschöpfend. Die Wechselwirkungen zwischen Neutronen und den verschiedenen Nukliden bzw. Isotopen sind nämlich wegen der experimentellen Schwierigkeiten nicht vollständig bekannt. Zwar wurden Wirkungsquerschnitte für thermische Neutronen vielfach gemessen, und grundsätzlich ist deren diskutierte Abhängigkeit von der Neutronenenergie auch empirisch bestätigt. Jedoch ist andererseits auch das Phänomen von „Resonanzen“ bekannt. Damit ist gemeint, daß manche Nuklide für manche höheren Neutronenenergien außerordentlich hohe Wirkungsquerschnitte aufweisen. Detailliert untersucht wurde das praktisch nur für in kerntechnischen Anwendungen wichtige Nuklide, vor allem Kernbrennstoffe. Es ist deswegen nicht auszuschließen, daß es noch andere bedeutsame Aktivierungsmechanismen geben könnte, die vor allem durch die sonst nicht so relevanten schnellen Neutronen ausgelöst werden. Ein Indiz für diese Möglichkeit ist die bei einigen neutronenemittierenden Anlagen beobachtete hohe Effektreichweite, die sich durch lokale Radioargon-Bildung und atmosphärischen Transport nicht zweifelsfrei erklären läßt. Unter diesem Gesichtspunkt wäre auch das Phänomen des „Skyshines“ (Reflexion schneller Neutronen an atmosphärischen Atomen und Rückstreuung zum Boden) kritisch zu untersuchen.

8 Literatur

1927

Muller, H.J., Artificial Transmutation of the Gene. Science, 1927. 66(1699): p. 84-7.

1956

Neel, J. V. and Schull, W. J. (1956) The Effect of Exposure to the Atomic Bomb on Pregnancy Termination in Hiroshima and Nagasaki. Washington, D. C.: National Academy of Sciences National Research Council, Publ. No. 461.

1958

Schull, W.J. and J.V. Neel, Radiation and the sex ratio in man. Science, 1958. 128(3320): p. 343-8.

UNSCEAR 1958 REPORT, Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, General Assembly Official Records: Thirteenth session Supplement No. 17 (A/3838) Annex H: The Genetic Effects of Radiation<http://www.unscear.org/docs/reports/1958, 13th session %28Suppl. No.17%29/1958final-4_unscear.pdf>

1963

Luning, K.G., Frolen, H., Nelson, A., Roennebaeck, C. (1963) Genetic effects of strontium-90 injected into male mice. Nature 197:304–305

1969

Traut, H., On the calculation of human mutation rates from changes in sex ratio. Ann Hum Genet, 1969. 33(1): p. 45-51.

1971

Sternglass, E.J. (1971) Environmental radiation and human health In: Neyman, J. (Ed) Sixth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. University of California Press, Berkeley

1986

Vogel, F. and Motulsky, A.G.: Human Genetics. 1986, Berlin Heidelberg New York Tokyo: Springer.

1987

BStMLU and BStMELF. Radioaktive Kontamination der Böden in Bayern, Bayerische Staatsministerien für Landesentwicklung und Umweltfragen (BSt MLU) und für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BSt MELF), München, 1987.

1989

Neel J.V., et al.: Implications of the Hiroshima-Nagasaki genetic studies for the estimation of the human „doubling dose" of radiation. Genome, 1989. 31(2): p. 853-859.

Lüning G, Scheer J, Schmidt M, Ziggel H.: Early infant mortality in West Germany before and after Chernobyl. Lancet. 1989 Nov 4;2(8671):1081-3, PMID: 2572806

1990

Jacob P., Rosenbaum H., Petoussi N., Zankl M.: Calculation of Organ Doses from Environmental Gamma Rays using Human Phantoms and Monte Carlo Methods. Part II: Radionuclides distributed in the Air or deposited on the Ground. Institut für Strahlenschutz, GSF-Bericht 12/90, GSF – Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, 85764 Oberschleißheim, 1990.

1994

Sperling K., Pelz J., Wegner R.D., Dorries A., Gruters A., Mikkelsen M.: Significant increase in trisomy 21 in Berlin nine months after the Chernobyl reactor accident: temporal correlation or causal relation? BMJ - British Medical Journal, 1994. 309(6948): p. 158-162.

1995

Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Landesfragen (BStMLU - Herausgeber). Angeborene Fehlbildungen in Bayern 1984 – 1991, Bericht im Rahmen des Strahlenbiologischen Umweltmonitorings in Bayern, Druck: BfS Salzgitter, 1995.

Irl C., Schoetzau A., van Santen F., Grosche B.: Birth prevalence of congenital malformations in Bavaria, Germany, after the Chernobyl accident. EurJ Epidemiology 11(6):621-5.1995.

1996

Schmitz-Feuerhake, I.; Schumacher, O. und Ziggel, H.: Umweltindikatoren für radioaktive Freisetzungen durch das KKW Krümmel – Radioactivity in the environment indicating releases by the Nuclear Reactor Krümmel, in: Heinemann, G., Pfob, H. (Eds.) Strahlenbiologie und Strahlenschutz 28. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz. Hannover, Okt. 1996, S. 353-355

Balter M.: Children become the first victims of fallout. Science, 1996. 272(5260): p. 357-360.

1997

Heimlich, F.H..: Messungen im Neutronen- und Gamma- Strahlungsfeld eines beladenen Castor-IIa-Behälters im Transportbehälterlager Gorleben und Vergleich der Meßergebnisse für Neutronen mit Monte-Carlo- Rechnungen, BfS-ET-24/97, 1997, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-201206198614>

1998

Lazjuk et al. (1998). Genetic consequences of the Chernobyl accident for Belarus Republic. Gijutsu-to-Ningen. 283: 26–32. (Artikel in Japanisch). Artikel in Englisch: <http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/NSRG/reports/kr21/kr21pdf/Lazjuk.pdf> (29.10.2008).

1999

Scherb H., Weigelt E., Brüske-Hohlfeld I.: European stillbirth proportions before and after the Chernobyl accident. International Journal of Epidemiology 1999, 28:932-940.

Zieglowski V., Hemprich A.: Facial cleft birth rate in former East Germany before and after the reactor accident in Chernobyl. Mund Kiefer Gesichtschir 1999, 3(4): p. 195-199.

2000

Scherb H., Weigelt E., Brüske-Hohlfeld I.: Regression analysis of time trends in perinatal mortality in Germany, 1980-1993. Environmental Health Perspectives 2000, 108:159-165.

Börst, F.-M.; Rimpler, A.; Scheib, H.: Strahlungsmessungen an Transport- und Lagerbehältern zur Beförderung von hochaktiven Glaskokillen aus der Wiederaufarbeitung und von bestrahlten Brennelementen, BfS-ET-32/00, Juli 2000, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-201109056224>

UNSCEAR (2000): Sources and effects of ionizing radiation, Report to the General Assembly, 6 June 2000. <http://www.radscihealth.org/rsh/docs/UN-Chernobyl/gareport.rtf>.

Scherb H, et al.: European stillbirth proportion and Chernobyl – Response. International Journal of Epidemiology, 2000. 29(3): p. 597-599.

Martuzzi M, et al.: Declining trends of male proportion at birth in Europe. Arch Environ Health, 2001. 56(4): p. 358-364.

Auvinen A, et al.: Chernobyl fallout and outcome of pregnancy in Finland. Environ Health Perspect, 2001. 109(2): p.179-185.

2001

UNSCEAR 2001 Report, Hereditary Effects of Radiation, Scientific Annex, p. 82.

2002

Körblein A. Tschernobyl-Folgen, Fehlbildungen bei Neugeborenen in Bayern, <http://www.strahlentelex.de/Stx_02_360_S05-06.pdf>.

Schmid, E., Regulla, D., Guldbakke, S., Schlegel, Roos, M.: Relative biological effectiveness of 144 keV neutrons in producing dicentric chromosomes in human lymphocytes compared with 60Co gamma rays under head-to-head conditions. Radiat Res 157:453-460 (2002)

2003

Scherb H., Weigelt E.: Zunahme der Perinatalsterblichkeit, Totgeburten und Fehlbildungen in Deutschland, Europa und in hochbelasteten deutschen und europäischen Regionen nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl im April 1986. Bericht Nr. 24 des Otto Hug Strahleninstitutes, ISSN 0941-0791 Gesellschaft für Strahlenschutz e.V. (GSS) Berlin, Bremen, 2003.

Scherb H., Weigelt E.: Congenital Malformation and Stillbirth in Germany and Europe Before and After the Chernobyl Nuclear Power Plant Accident. Environmental Science and Pollution Research, Special Issue 2003, 1:117- 125.

Börst, F.-M.; Nitsche, F.: Strahlungsmessungen an einem Transport- und Lagerbehälter vom TYP CASTOR HAW 20/28 CG, BfS-SE-01/03, Juli 2003, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-201109056231>

ICRP, Relative biological effectiveness (RBE), quality factor (Q), and radiation weighting factor (wR). Publication 92, Annals of the ICRP, Pergamon Press, Oxford (2003)

Schmid, E., Schlegel, D., Guldbakke, S., Kapsch, R.-P., Regulla, D.: RBE of nearly monoenergetic neutrons at energies of 36 keV-14.6 MeV for induction of dicentrics in human lymphocytes. Radiat Environ Biophys 42:87-94 (2003)

2004

Scherb H, Weigelt E. Cleft lip and cleft palate birth rate in Bavaria before and after the Chernobyl nuclear power plant accident [Article in German, Abstract in English]. Mund Kiefer Gesichtschirurgie, 8(2):106-110, 2004.

Zatsepin P, et al.: Cluster of Down's syndrome cases registered in January 1987 in the Republic of Belarus as a possible effect of the Chernobyl accident. International Journal of Radiation Medicine 2004. Special issue (6): p. 57-71.

Schmid, E.: Relative Biologische Wirksamkeit von CASTOR-Neutronen am Beispiel von Chromosomenaberrationen in menschlichen Lymphozyten Relative biological effectiveness of CASTOR-neutrons in human lymphocytes Institut für Strahlenbiologie, GSF 2004

Muerbeth, S., M. Rousarova, H. Scherb and E. Lengfelder (2004): Thyroid cancer has increased in the adult populations of countries moderately affected by Chernobyl fallout. Med Sci Monit 10(7): CR300-306.

2005

Metneki J, Czeizel AE: Increasing total prevalence rate of cases with Down syndrome in Hungary. European Journal of Epidemiology, 2005. 20(6): p. 525-535.

Mathews TJ, Hamilton BE: Trend analysis of the sex ratio at birth in the United States. Natl Vital Stat Rep, 2005. 53(20): p. 1-17.

2006

Küchenhoff H, Engelhardt A, Körblein A. Combined spatialtemporal analysis of malformation rates in Bavaria after the Chernobyl accident. Busby/Yablokov (Hrsg.), Chernobyl: 20 years on. Health effects of the Chernobyl accident, (European Committee on Radiation Risk Documents, 01/2006), Aberystwyth: Green Audit Press, S. 179-183. <http://www.alfred-koerblein.de/chernobyl/downloads/malformations.pdf>.

2007

Scherb, H. and K. Voigt, Trends in the human sex odds at birth in Europe and the Chernobyl Nuclear Power Plant accident. Reproductive Toxicology, 2007. 23(4): p. 593-599.

2008

Bergan, T., Dowdall, M. and Selnaes, O.G.: On the occurrence of radioactive fallout over Norway as a result of the Windscale accident, October 1957. J Environ Radioact, 2008. 99(1): p. 50-61.

Sperling K., et al.: Low dose irradiation and nondisjunction: Lessons from Chernobyl. 2008, 19th Annual Meeting of the German Society of Human Genetics: Hanover.

Scherb, H.: Epidemiologische Tatsachen fordern „gegenwärtigen strahlenbiologischen Kenntnisstand“ heraus, Strahlentelex 524-525 v. 6.11.2008, S. 4-5, <http://www.strahlentelex.de/Stx_08_524_S04-05.pdf>

2009

Scherb H, Voigt K. Analytical ecological epidemiology: Exposure-reponse relations in spatially stratified time series. Environmetrics, 20: 596–606, 2009.

Scherb H, Voigt K (2009): Radiation-induced genetic effects in Europe and the Chernobyl Nuclear Power Plant catastrophe. (Lesbos conference, Busby et al.)

Tickell O (2009): Toxic link: the WHO and the IAEA: A 50-year-old agreement with the IAEA has effectively gagged the WHO from telling the truth about the health risks of radiation. The Guardian, Thursday 28 May 2009, <http://www.guardian.co.uk/commentisfree/2009/may/28/who-nuclear-power-chernobyl>.

2010

Wertelecki W: Malformations in a Chornobyl-Impacted Region. Pediatrics 2010, 125:836-843.

Kusmierz, R., Voigt, K. , Scherb, H.: Is the human sex odds at birth distorted in the vicinity of nuclear facilities (NF)? A preliminary geo-spatial-temporal approach. In: Klaus Greve / Armin B. Cremer (Eds.): EnviroInfo 2010, Integration of Environmental Information in Europe, Proceedings of the 24th International Conference on Informatics for Environmental Protection, Cologne/Bonn, Germany, pp. 616-626, Shaker Verlag, Aachen 2010.

Körblein, A.: Säuglingssterblichkeit und Geschlechterverhältnis nach den atmosphärischen Atomwaffentests, Strahlentelex 554-555 v. 4.2.2010, S.1-5, <http://www.strahlentelex.de/Stx_10_554_S01-05.pdf>

Körblein, A.: Geschlechterverhältnis bei der Geburt in Bayern nach Tschernobyl, Strahlentelex 556-557 v. 4.3.2010, S.7-10, <http://www.strahlentelex.de/Stx_10_556_S07-10.pdf>

Scherb, H.: Verlorene Kinder, Die Geschlechtschance des Menschen bei der Geburt in Europa und in den USA nach den oberirdischen Atomwaffentests und nach Tschernobyl. Strahlentelex 558-559 v. 01.04.2010, S.1-4, <http://www.strahlentelex.de/Stx_10_558_S01-04.pdf>

Körblein, A.: Auswirkungen der oberirdischen Atomwaffentests, Strahlentelex 572-573 v. 04.11.2010, S. 4-6, <http://www.strahlentelex.de/Stx_10_572_S04-06.pdf>

Kusmierz, R., Voigt, K. , Scherb, H.: Veränderte geburtliche Geschlechterverteilung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen; Geschlechterverteilung in der Umgebung bayerischer Kernkraftwerke, Strahlentelex 574-575 v. 2.12.2010, S.2-5, <http://www.strahlentelex.de/Stx_10_574_S02-05.pdf>

Yablokov AV, et al.: Chernobyl: Consequences of the Catastrophe for People and the Environment, ed. A.o.t.N.Y.A.o. Sciences. 2010, Berlin Heidelberg New York Tokyo: John Wiley and Sons.

2011

Scherb, H. and K. Voigt. The human sex odds at birth after the atmospheric atomic bomb tests, after Chernobyl, and in the vicinity of nuclear facilities. Environmental Science and Pollution Research International, 2011. 18(5): p. 697-707.

Venero Fernández SJ, Medina RS, Britton J, Fogarty AW.: The association between living through a prolonged economic depression and the male:female birth ratio – a longitudinal study from Cuba, 1960-2008. Am J Epidemiol. 2011 Dec 15;174(12): 1327-31. doi:10.1093/aje/kwr357. Epub 2011 Oct 29. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pub med/22038101>

Scherb, H., Voigt, K. , Kusmierz, R.: FactSheet Gorleben Version 3.0, December 2011: Gender specific live births in the vicinity of Gorleben, Germany: Lower Saxony (1971– 2010), Mecklenburg-West Pomerania (1990-2010), Brandenburg (1991-2009), and Saxony Anhalt (1991-2009), 12/21/2011,

Epidemiologie – Bei Gorleben werden seit Beginn der Castor-Transporte ins dortige Atom-Zwischenlager zunehmend zu wenige Mädchen geboren Strahlentelex 590-591 v. 4.8.2011, S. 17, <http://www.strahlentelex.de/Stx_11_590_S17-18.pdf>

Pflugbeil, S.; Verlorene Kinder um Gorleben, Strahlentelex 592-593 v. 1.9.2011, S. 14, <http://www.strahlentelex.de/Stx_11_592_S14.pdf>

NLGA: Veränderungen beim sekundären Geschlechterverhältnis in der Umgebung des Transportbehälterlagers Gorleben ab 1995; Analysen auf Basis der Geburtsstatistiken der Bundesländer Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt sowie Niedersachsen. Erstellt von M. Hoopmann und K. Maaser, Hannover Juli 2011.

2012

Sperling K, Neitzel H, Scherb H. Evidence for an increase in trisomy 21 (Down syndrome) in Europe after the Chernobyl reactor accident. Genetic Epidemiology, 36 (1): 48–55, 2012.

Kusmierz R, Scherb H, Voigt K: Overview on data sources for modeling epidemiological effects of environmental pollution. International Environmental Modeling and Software Society (iEMSs) 2012. International Congress on Environmental Modeling and Software: Managing Resources of a Limited Planet, Sixth Biennial Meeting, Leipzig, Germany, R. Seppelt, A.A. Voinov, S. Lange, D. Bankam (Eds.) <http://www.iemss.org/society/index.php/iemss-2012-proceedings>.

Kusmierz, R.: Weshalb Zwischenlager Radioaktivität freisetzen, Strahlentelex 616-617 v. 6.9.2012, S. 1-4, <http://www.strahlentelex.de/Stx_12_616_S01-04.pdf>

Scherb, H.; Voigt, K. Response to W. Kramer: The human sex odds at birth after the atmospheric atomic bomb tests, after Chernobyl, and in the vicinity of nuclear facilities: Comment. Environ. Sci. Pollut. Res. 19, 1335-1340 (2012)

Scherb, H., Sperling, K. Heutige Lehren aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl, Naturwissenschaftliche Rundschau, 64. Jahrgang, Heft 5, 2011

2013

Scherb, H., Kusmierz, R. and Voigt, K. : Increased sex ratio in Russia and Cuba after Chernobyl: a radiological hypothesis, Environmental Health 2013, 12:63. doi:10.1186/1476- 069X-12-63. <http://www.ehjournal.net/content/ 12/1/63 PUBMED: 23947741>

Kusmierz, R.: Fehlende Mädchen in Kuba durch Radionuklide in importierter Nahrung. Wie Regierungen und Wirtschaft ihre Bevölkerung radioaktiv verstrahlen, Strahlentelex 640-641 v. 5.9.2013, S. 1-6, <http://www.strahlentelex.de/Stx_13_640-641_S01-06.pdf>.

Scherb, H., Kusmierz, R., Voigt, K. . The human sex odds at birth in France - a preliminary geospatial-temporal approach in the vicinity of three selected nuclear facilities (NF): Centre de Stockage (CdS) de l'Aube, Institute Laue-Langevin (ILL) de Grenoble, and Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) de Saclay/Paris. SIMULATION IN UMWELT- UND GEOWISSENSCHAFTEN, Workshop Leipzig 2013, Shaker Verlag, Aachen 2013, ISSN 1818-0886, ISBN 978-3-8440-2009-0.

2014

Grech, V., Births and male: female birth ratio in Scandinavia and the United Kingdom after the Windscale fire of October 1957. Int J Risk Saf Med, 2014. 26(1): p. 45-53.

Edwards, A.M. and E.Z. Cameron, Forgotten fathers: paternal influences on mammalian sex allocation. Trends Ecol Evol, 2014. 29(3): p. 158-64.

Scherb, H., Kusmierz, R., Voigt, K. : Windscale/Sellafield-Folgen: Rückgang der Geburten von Mädchen und Jungen, Strahlentelex 664-665 v. 4.9.2014, S. 7-10, <http://www.strahlentelex.de/Stx_14_664-665_S07-10.pdf>

Scherb, H., Voigt, K. : Fehlbildungsrate in Bayern vor und nach dem Unfall von Tschernobyl. Stratifiziert nach radioaktivem Fallout – Update 2014, Strahlentelex 652-653 v. 6.3.2014, S. 1-5, <http://www.strahlentelex.de/Stx_14_652-653_S01-05.pdf>

Fukumoto, M., Voigt, K. , Kusmierz, R., Scherb, H.: Totgeburten und Säuglingssterblichkeit in Japan, Strahlentelex 650-651 v. 6.2.2014, S. 3-6, <http://www.strahlentelex.de/Stx_14_650-651_S03-06.pdf>

Scherb, H.; Voigt, K.; Kusmierz, R. Nuclear energy: Danger only in case of accidents? In: Gomez, M.; Sonnenschein, M.; Vogel, U.; Winter, A.; Rapp, B.; Giesen, N. [Eds.]: Proceedings of the 28th International Conference on Informatics for Environmental Protection (EnviroInfo 2014 - ICT for Energy Efficiency, 10 - 12 September 2014, Oldenburg, Germany). Oldenburg: BIS-Verlag, 2014. 119-126

Quelle für Wirkungsquerschnitte

http://www.ncnr.nist.gov/resources/n-lengths/list.html

9 FactSheet Gorleben

Dr. Hagen Scherb
Dr. Kristina Voigt
Dipl.-Ing. Ralf Kusmierz
IBB/HMGU

10/30/2014

Birth Sex Odds (SO) and Sex Odds Ratios (SOR) around the TBL Gorleben – Spatial-temporal situation, replication of and comparison with the NLGA-study

Content

1. **Summary statistics**
2. **Temporal and spatial trends**
3. **Replication of and comparison with the NLGA-study**
4. **References**
5. **Abbreviations**
6. **List of municipalities, GK3 coordinates (BKG/GN250), distances form the TBL Gorleben, and Google Maps positions**
7. **Municipalities (areas and positions) and 10-km/35-km distance rings in GK3 coordinates**

1. Summary statistics

1.1. 35-km (ATKIS/NLGA) around the TBL Gorleben

Period	total	m	f	SO	SOR	ln(SOR) / SE	p-value
1991-1995	6898	3477	3421	1.0164	1.0774	0.0745	**0.0080**
1996-2009	19209	10040	9169	1.0950		0.0281	
Total	26107	13517	12590				

p-value 0.0080 is two-sided, corresponds to one-sided 0.0040 by NLGA-study

Theoretical deficit of female births: **709**

1.2. 35-km (BKG/GN250) around the TBL Gorleben

Period	total	m	f	SO	SOR	ln(SOR) / SE	p-value
1981-1995	11570	5800	5770	1.0052	1.0843	0.0810	**0.0006**
1996-2010	18467	9631	8836	1.0900		0.0237	
Total	30037	15431	14606				

Theoretical deficit of female births: **745**

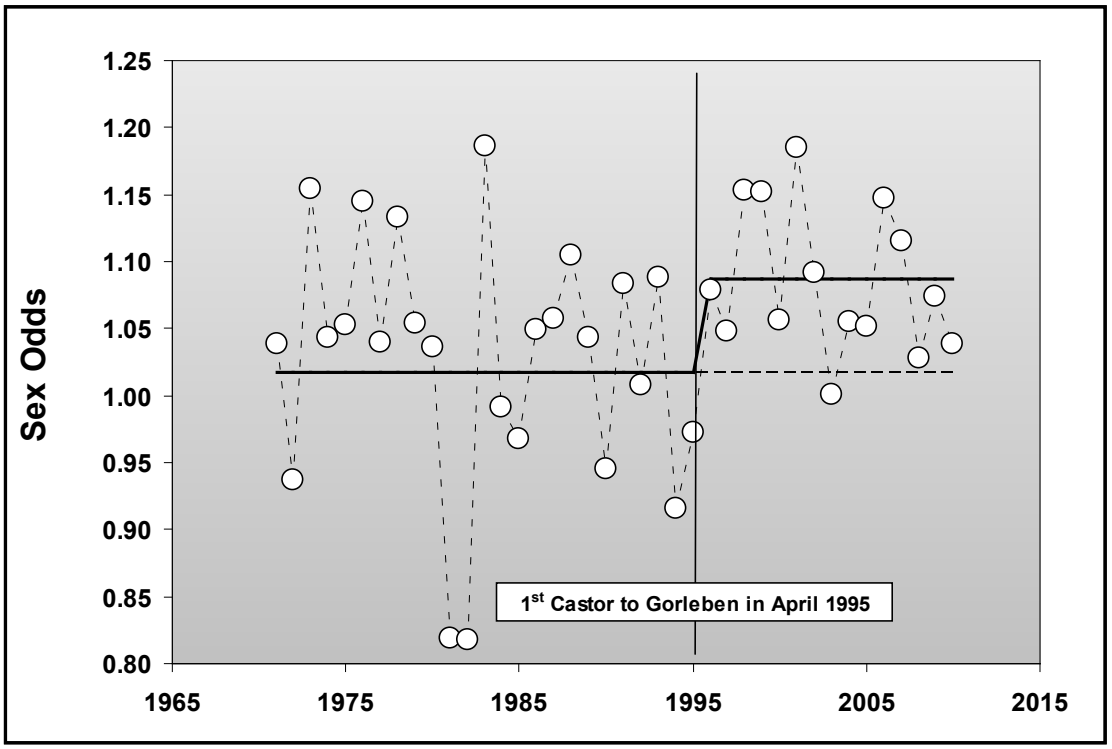
1.3. 40-km (BKG/GN250) around the TBL Gorleben

Period	total	m	f	SO	SOR	ln(SOR) / SE	p-value
1981-1995	13861	6939	6922	1.0025	1.0838	0.0805	**0.0002**
1996-2010	23135	12047	11088	1.0865		0.0215	
Total	36996	18986	18010				

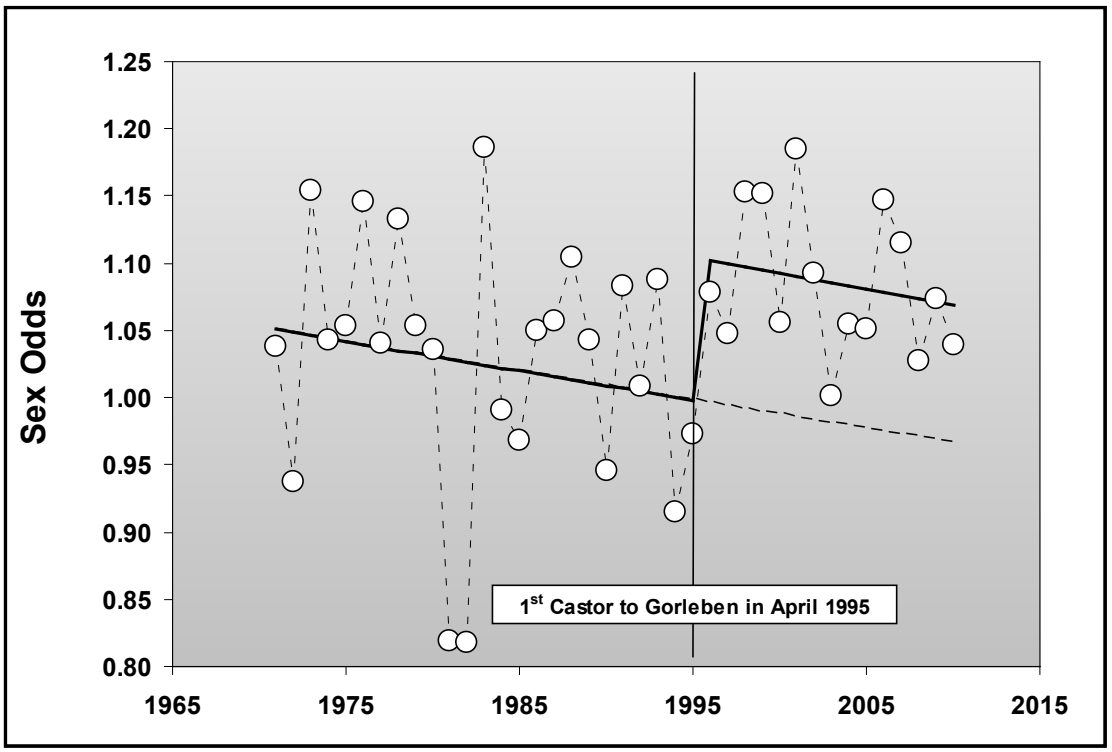
Theoretical deficit of female births: **929**

2. Temporal and spatial trends

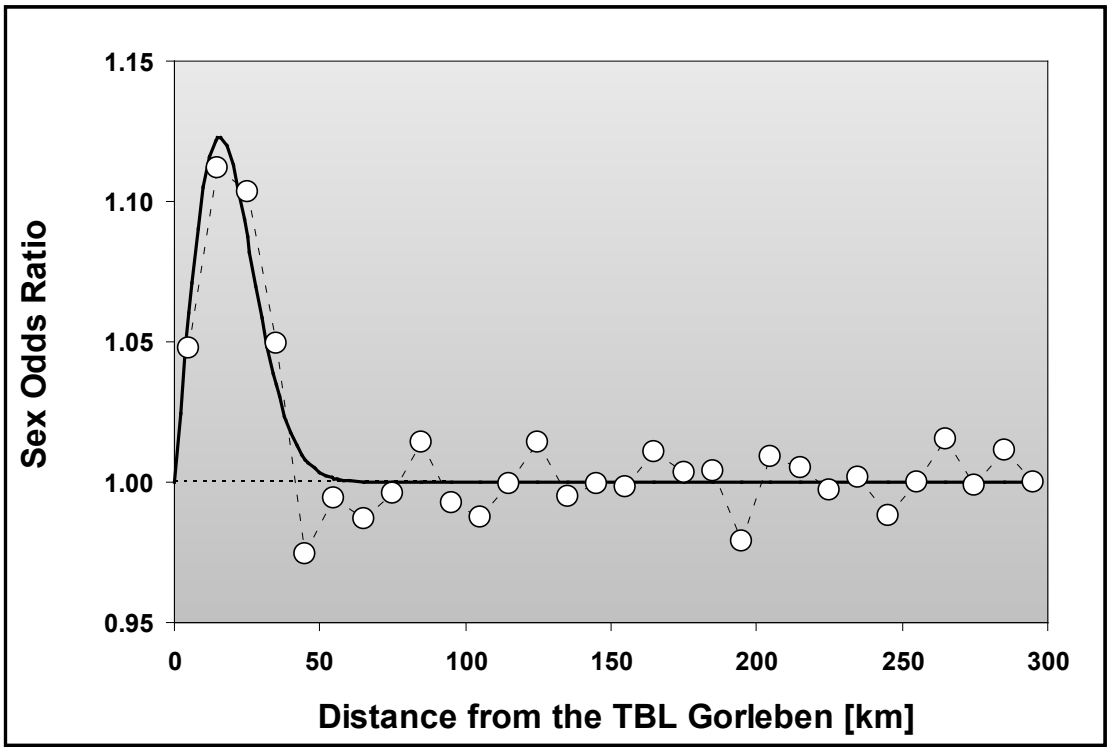
2.1. 40-km (BKG/GN250) around the TBL Gorleben: constant trend and jump after the 1st Castor went to Gorleben in April 1995, p-value for the jump 0.0024



2.2. 40-km (BKG/GN250) around the TBL Gorleben: downward trend and jump after the 1st Castor went to Gorleben in April 1995, p-value for the jump 0.0054



2.3. Spatial trend of the SOR (after vs. before the first Castor went to Gorleben in April 1995 per 10 km distance rings – aggregated data) and Rayleigh function model, F-test p-value 0.0091 – live birth data from 1981 – 2010



3. Replication of and comparison with the NLGA-study

3.1. Brandenburg

Municipalities in Brandenburg 1991 - 2009	km from TBL (BKG/GN250)	tot<1996	m < 1996	f < 1996	tot>=1996	m >= 1996	f >= 1996
Wootz	3.89	4	2	2	20	12	8
Lenzerwische	4.78	0	0	0	16	8	8
Besandten	7.11	2	1	1	1	0	1
Eldenburg	11.09	5	4	1	10	7	3
Lenzen (Elbe)	11.53	45	20	25	194	100	94
Lanz	18.09	18	12	6	98	40	58
Mellen	21.26	7	2	5	8	4	4
Cumlosen	21.27	24	10	14	66	26	40
Boberow	22.22	6	0	6	3	1	2
Pröttlin	23.88	22	10	12	20	11	9
Mankmuß	24.39	9	6	3	7	6	1
Laaslich	24.83	9	5	4	8	2	6
Bentwisch	25.85	9	4	5	2	2	0
Nebelin	27.02	2	1	1	10	4	6
Wittenberge	27.92	624	337	287	1503	793	710
Garlin	28.10	17	7	10	35	18	17
Groß Warnow	28.82	11	2	9	11	7	4
Weisen	29.93	26	16	10	84	44	40
Karstädt	30.41	86	46	40	479	238	241
Breese	30.44	21	11	10	127	71	56
Reckenzin	31.81	7	3	4	7	4	3
Premslin	31.88	22	11	11	28	13	15
Groß Breese	32.47	11	4	7	14	5	9
Dallmin	34.55	12	7	5	18	6	12
Blüthen	34.66	9	5	4	11	4	7
Perleberg	35.43	404	208	196	1323	697	626
Kribbe	36.27	6	2	4	9	5	4
Total NLGA (ATKIS)	**< 35 km**	**1418**	**736**	**682**	**4112**	**2128**	**1984**

Numbers for Brandenburg given by the NLGA study (p. 19, Tabelle 4.4) confirmed

3.2. Lower Saxony

Municipalities in Lower Saxony 1991 - 2009	km from TBL (BKG/GN250)	tot<1996	m < 1996	f < 1996	tot>=1996	m >= 1996	f >= 1996
Gorleben	1.95	32	10	22	64	32	32
Trebel	4.51	36	17	19	116	61	55
Höhbeck	6.85	36	25	11	51	27	24
Gartow	8.15	57	30	27	134	64	70
Prezelle	8.78	38	19	19	49	28	21
Langendorf	9.61	36	16	20	82	44	38
Gusborn	10.53	55	25	30	137	64	73
Woltersdorf	11.90	55	32	23	113	56	57
Lemgow	13.28	84	36	48	157	82	75
Lüchow (Wendland)	14.09	482	248	234	1196	651	545
Schnackenburg	15.16	28	11	17	59	33	26
Damnatz	15.90	20	9	11	23	9	14
Lübbow	17.47	43	20	23	108	60	48
Jameln	17.82	56	22	34	128	76	52
Dannenberg (Elbe)	18.21	418	212	206	1036	522	514
Wustrow (Wendland)	19.24	172	80	92	379	197	182
Küsten	19.58	65	31	34	195	102	93
Karwitz	22.62	26	13	13	85	39	46
Luckau (Wendland)	22.85	45	25	20	82	40	42
Hitzacker (Elbe)	24.08	211	107	104	480	254	226
Waddeweitz	25.93	55	27	28	100	52	48
Clenze	28.11	139	66	73	255	131	124
Bergen an der Dumme	30.35	88	47	41	171	89	82
Zernien	30.77	66	38	28	152	80	72
Göhrde	33.23	46	23	23	95	48	47
Total NLGA (ATKIS)	**< 35 km**	**2389**	**1189**	**1200**	**5447**	**2841**	**2606**
Amt Neuhaus (BKG/GN250)	39.33	**108**	**54**	54	**495**	**263**	232

Numbers for Lower Saxony given by the NLGA study (p. 19, Tabelle 4.4) confirmed

3.3 Mecklenburg-West Pomerania

Municipalities in Mecklenburg-West Pomerania 1991 - 2009	km from TBL (BKG/GN250)	tot<1996	m < 1996	f < 1996	tot>=1996	m >= 1996	f >= 1996
Polz	9.84	7	4	3	30	11	19
Dömitz	13.52	89	42	47	255	139	116
Neu Kaliß	15.69	57	30	27	231	112	119
Krinitz	16.53	5	2	3	18	10	8
Rüterberg	16.91	2	2	0	8	5	3
Heidhof	17.13	10	3	7	11	5	6
Gorlosen	18.83	8	4	4	56	27	29
Steesow	19.44	6	3	3	20	9	11
Malliß	19.96	54	25	29	148	83	65
Malk Göhren	20.30	11	5	6	51	32	19
Woosmer	21.61	13	7	6	10	5	5
Karenz	21.88	8	3	5	34	17	17
Milow	22.07	12	8	4	27	12	15
Eldena	22.60	49	28	21	114	68	46
Niendorf an der Rögnitz	22.79	12	4	8	20	6	14
Dadow	23.10	4	4	0	8	5	3
Grebs	23.15	21	9	12	18	8	10
Grebs-Niendorf	23.60	0	0	0	25	14	11
Tewswoos	23.64	10	5	5	30	13	17
Bresegard bei Eldena	23.85	6	2	4	30	17	13
Vielank	26.12	14	8	6	66	32	34
Glaisin	27.21	14	5	9	21	13	8
Leussow	27.41	8	5	3	25	11	14
Kremmin	29.60	13	8	5	26	14	12
Karstädt	29.90	31	18	13	77	37	40
Göhlen	30.53	21	12	9	37	19	18
Grabow	31.13	188	101	87	586	325	261
Jessenitz	31.27	20	10	10	28	15	13
Alt Krenzlin	31.65	27	9	18	78	44	34
Prislich	32.60	27	15	12	62	33	29
Kummer	33.28	15	7	8	32	21	11
Groß Krams	33.78	6	4	2	23	10	13
Belsch	33.94	7	6	1	26	13	13
Werle	34.13	6	4	2	15	6	9
Ludwigslust	34.14	368	181	187	1212	608	604
Lübtheen	34.34	113	64	49	459	229	230
Warlow	34.84	14	6	8	61	32	29
Zierzow	36.26	17	6	11	41	17	24
Gößlow	36.28	19	10	9	22	10	12
Garlitz	38.21	13	6	7	35	16	19
Total NLGA (ATKIS)	**< 35 km**	**1325**	**675**	**650**	**4076**	**2103**	**1973**

Numbers for Mecklenburg-West Pomerania given by the NLGA study (p. 19, Tabelle 4.4) confirmed

Not ascertained or overseen by the NLGA study (p. 18, Tabelle 4.3)

Municipalities in Mecklenburg-West Pomerania 1991 - 2009	km from TBL (BKG/GN250)	tot<1996	m < 1996	f < 1996	tot>=1996	m >= 1996	f >= 1996
Wootz	3.89	1	1	0	0	0	0
Besandten	7.11	2	2	0	0	0	0
Lenzen/Elbe	11.53	13	9	4	0	0	0
Lanz	18.09	8	3	5	0	0	0
Tripkau	22.94	9	2	7	0	0	0
Kaarßen	26.83	14	7	7	0	0	0
Groß Laasch (listed in Tab 4.3)	37.58	36	19	17	98	54	44
Total NLGA (ATKIS)	**< 35 km**	**83**	**43**	**40**	**98**	**54**	**44**

3.4. Saxony-Anhalt

Municipalities in Saxony Anhalt 1991 - 2009	km from TBL (BKG/GN250)	tot<1996	m < 1996	f < 1996	tot>=1996	m >= 1996	f >= 1996
Gollensdorf	16.50	8	3	5	36	17	19
Aulosen	16.62	19	4	15	43	23	20
Ziemendorf	16.64	17	5	12	19	7	12
Schrampe	17.11	9	4	5	31	24	7
Kaulitz	17.29	7	2	5	26	13	13
Wanzer	18.37	3	2	1	14	6	8
Kläden	19.52	9	2	7	22	14	8
Arendsee (Altmark)	19.62	88	50	38	292	151	141
Binde	20.19	10	2	8	29	14	15
Riebau	20.21	18	10	8	24	14	10
Pollitz	20.52	10	4	6	26	10	16
Chüden	20.87	16	6	10	42	18	24
Groß Garz	21.17	35	16	19	93	48	45
Leppin	22.67	15	7	8	40	25	15
Thielbeer	22.86	6	4	2	20	11	9
Pretzier	22.88	39	22	17	165	85	80
Klein Gartz	23.40	4	2	2	21	12	9
Salzwedel	23.73	658	337	321	2248	1204	1044
Königstedt	24.34	1	1	0	0	0	0
Neulingen	24.35	7	3	4	16	9	7
Sanne-Kerkuhn	24.57	7	2	5	27	16	11
Brietz	25.03	9	3	6	46	25	21
Heiligenfelde	25.32	11	8	3	30	16	14
Stappenbeck	25.62	4	2	2	37	16	21
Höwisch	25.62	2	2	0	15	7	8
Seebenau	25.71	12	6	6	80	51	29
Gagel	26.29	6	4	2	8	3	5
Krüden	26.94	28	15	13	79	37	42
Liesten	27.48	12	5	7	18	11	7
Steinitz	27.56	4	0	4	60	32	28
Mahlsdorf	27.71	18	9	9	16	10	6
Benkendorf	27.71	7	0	7	17	8	9
Geestgottberg	27.93	9	7	2	35	16	19
Kleinau	28.45	48	23	25	65	34	31
Kossebau	28.47	12	8	4	23	12	11
Losse	28.50	1	1	0	3	1	2
Dambeck	28.50	14	5	9	16	8	8
Kerkau	28.52	4	1	3	23	13	10
Bretsch	28.91	30	18	12	54	31	23
Lückstedt	29.02	19	9	10	61	35	26
Losenrade	29.47	3	1	2	11	7	4
Wieblitz-Eversdorf	30.20	7	4	3	35	27	8
Boock	30.47	9	5	4	39	25	14
Altensalzwedel	31.30	14	7	7	38	19	19
Osterwohle	31.31	28	18	10	41	21	20
Kuhfelde	31.56	14	4	10	66	37	29
Beuster	31.79	26	21	5	61	44	17
Tylsen	31.81	5	3	2	9	4	5
Seehausen (Altmark)	31.98	155	75	80	455	225	230
Brunau	32.88	12	7	5	0	0	0
Henningen	33.07	19	11	8	74	40	34
Valfitz	33.34	10	4	6	17	9	8
Winterfeld	33.42	19	9	10	66	36	30
Langenapel	34.84	10	6	4	24	14	10
Siedenlangenbeck	35.71	19	10	9	40	21	19
Ellenberg	36.30	11	3	8	35	18	17
Schönberg	36.43	18	7	11	45	23	22
Gieseritz	36.47	5	3	2	12	5	7
Apenburg	37.36	35	10	25	85	42	43
Püggen	38.52	3	1	2	6	1	5
Total NLGA (ATKIS)	**< 35 km**	**1658**	**823**	**835**	**5079**	**2705**	**2374**

Numbers for Saxony Anhalt given by the NLGA study (p. 19, Tabelle 4.4) confirmed

3.4. Saxony-Anhalt (continued)

Not ascertained or overseen by the NLGA study (p. 16, Tabelle 4.1)

Municipalities in Saxony Anhalt 1991 - 2009	km from TBL (BKG/GN250)	tot<1996	m < 1996	f < 1996	tot>=1996	m >= 1996	f >= 1996
Mechau	18.05	5	2	3	34	14	20
Wahrenberg	23.35	7	0	7	39	21	18
Vissum	23.82	8	2	6	28	15	13
Böddenstedt	25.71	3	2	1	0	0	0
Rademin	26.26	8	4	4	20	9	11
Fleetmark	26.82	26	12	14	89	47	42
Lübars	29.18	25	12	13	33	17	16
Andorf	30.57	2	1	1	0	0	0
Lüge	30.71	3	2	1	0	0	0
Jeggeleben	30.82	15	6	9	49	24	25
Schieben	31.39	1	0	1	0	0	0
Jeetze	32.82	22	12	10	35	17	18
Brunau (> 1992)	32.88	12	6	6	68	33	35
Packebusch	32.88	13	6	7	37	24	13
Gladigau	33.00	13	4	9	35	17	18
Winterfeld (<1994)	33.42	8	4	4	0	0	0
Badel	33.73	8	5	3	36	17	19
Rossau	33.78	7	4	3	39	14	25
Wallstawe	34.12	12	4	8	52	25	27
Krevese	34.22	11	7	4	41	25	16
Güssefeld	34.93	9	5	4	30	17	13
Barnebeck	34.97	2	2	0	0	0	0
Total (BKG/GN250)	**< 35 km**	**220**	**102**	**118**	**665**	**336**	**329**

3.5. Remark

Municipalities may occur multiple times in the lists because of regional municipality reforms and changing allocation to differing German states (Bundesländer). The value zero (0) means zero births and no data as well.

4. References

http://www.nlga.niedersachsen.de/download/60794

http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22162022

http://www.naturwissenschaftliche-rundschau.de/navigation/dokumente/NR_5_2011_HB_Scherb.pdf

http://www.springerlink.com/content/w822527526045772/fulltext.pdf

http://dx.doi.org/10.1007/s11356-010-0332-0

http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17482426

http://www.strahlentelex.homepage.t-online.de/Stx_10_574_S03-05.pdf

http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/env.958/abstract

5. Abbreviations

ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem, Leibniz - Institut für Ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR), Dresden, Germany
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main, Germany
HMGU	Helmholtz Zentrum München Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH) German Research Center for Environmental Health, Neuherberg, Germany
IBB	Institute of Biomathematics and Biometry, HMGU
GK3	Gauss-Krüger coordinates (R(echts) and H(och) values) for the 3° meridian
GN250	Geographische Namen, BRD, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Leipzig, CD, 6.6.2011, © GeoBasis-DE / BKG 2011
ln	Natural logarithm
MV	Mecklenburg Vorpommern (Mecklenburg-West Pomerania)
NLGA	Niedersächsisches Landesgesundheitsamt, Hannover, Germany
SE	Standard Error
SO	Sex odds – male/female
SOR	Sex odds ratio – ratio of two interesting sex odds to be compared
ST	Sachsen Anhalt (Saxony Anhalt)
TBL	Transportbehälterlager für Castoren – nuclear waste shipping casks storage, Gorleben, Germany
Tot(al)	Total births, m: male births, f: female births

6. List of municipalities, GK3 coordinates (BKG/GN250), distances form the TBL Gorleben, and Google Maps positions

No	Municipality	GK3_R	GK3_H	km	GoogleMaps
1	Gorleben	3658107	5882155	1.95	http://maps.google.de/maps?q=53.0483%0911.3567&hl=de
2	Wootz	3658201	5884212	3.89	http://maps.google.de/maps?q=53.0667%0911.3591&hl=de
3	Trebel	3655716	5876191	4.51	http://maps.google.de/maps?q=52.9955%0911.3182&hl=de
4	Lenzerwische	3657475	5885246	4.78	http://maps.google.de/maps?q=53.0762%0911.3488&hl=de
5	Höhbeck	3662999	5883950	6.85	http://maps.google.de/maps?q=53.0629%0911.4305&hl=de
6	Besandten	3653687	5886731	7.11	http://maps.google.de/maps?q=53.0907%0911.2931&hl=de
7	Gartow	3665217	5879842	8.15	http://maps.google.de/maps?q=53.0254%0911.4615&hl=de
8	Prezelle	3661382	5872829	8.78	http://maps.google.de/maps?q=52.9636%0911.4009&hl=de
9	Langendorf	3651023	5887933	9.61	http://maps.google.de/maps?q=53.1022%0911.2539&hl=de
10	Polz	3657877	5890294	9.84	http://maps.google.de/maps?q=53.1214%0911.3573&hl=de
11	Gusborn	3647688	5885224	10.53	http://maps.google.de/maps?q=53.0788%0911.2029&hl=de
12	Eldenburg	3663370	5889631	11.09	http://maps.google.de/maps?q=53.1138%0911.4389&hl=de
13	Lenzen (Elbe)	3666054	5887737	11.53	http://maps.google.de/maps?q=53.0960%0911.4780&hl=de
14	Woltersdorf	3649488	5871339	11.90	http://maps.google.de/maps?q=52.9537%0911.2233&hl=de
15	Lemgow	3655620	5867289	13.28	http://maps.google.de/maps?q=52.9156%0911.3125&hl=de
16	Dömitz,Stadt	3650554	5892323	13.52	http://maps.google.de/maps?q=53.1418%0911.2490&hl=de
17	Lüchow (Wendland)	3645301	5872779	14.09	http://maps.google.de/maps?q=52.9677%0911.1617&hl=de
18	Schnackenburg	3672230	5881404	15.16	http://maps.google.de/maps?q=53.0372%0911.5667&hl=de
19	Neu Kaliß	3653360	5895722	15.69	http://maps.google.de/maps?q=53.1715%0911.2925&hl=de
20	Damnatz	3645680	5891556	15.90	http://maps.google.de/maps?q=53.1362%0911.1758&hl=de
21	Gollensdorf	3671597	5872616	16.50	http://maps.google.de/maps?q=52.9585%0911.5526&hl=de
22	Krinitz	3663863	5895566	16.53	http://maps.google.de/maps?q=53.1670%0911.4493&hl=de
23	Aulosen	3673226	5876492	16.62	http://maps.google.de/maps?q=52.9928%0911.5789&hl=de
24	Ziemendorf	3667561	5867546	16.64	http://maps.google.de/maps?q=52.9143%0911.4900&hl=de
25	Rüterberg	3646089	5893326	16.91	http://maps.google.de/maps?q=53.1520%0911.1827&hl=de
26	Schrampe	3664410	5865020	17.11	http://maps.google.de/maps?q=52.8926%0911.4419&hl=de
27	Heidhof	3649107	5895645	17.13	http://maps.google.de/maps?q=53.1720%0911.2289&hl=de
28	Kaulitz	3661053	5863654	17.29	http://maps.google.de/maps?q=52.8813%0911.3914&hl=de
29	Lübbow	3646825	5866354	17.47	http://maps.google.de/maps?q=52.9096%0911.1815&hl=de
30	Jameln	3639275	5880671	17.82	http://maps.google.de/maps?q=53.0402%0911.0755&hl=de
31	Mechau	3658125	5862463	18.05	http://maps.google.de/maps?q=52.8715%0911.3474&hl=de
32	Lanz	3674443	5885600	18.09	http://maps.google.de/maps?q=53.0741%0911.6019&hl=de
33	Dannenberg (Elbe)	3640073	5886962	18.21	http://maps.google.de/maps?q=53.0965%0911.0901&hl=de
34	Wanzer	3675013	5876435	18.37	http://maps.google.de/maps?q=52.9917%0911.6055&hl=de
35	Gorlosen	3664487	5897801	18.83	http://maps.google.de/maps?q=53.1868%0911.4598&hl=de
36	Wustrow (Wendland)	3642603	5867833	19.24	http://maps.google.de/maps?q=52.9240%0911.1194&hl=de
37	Steesow	3670213	5894826	19.44	http://maps.google.de/maps?q=53.1583%0911.5438&hl=de
38	Kläden/Arendsee	3664106	5862270	19.52	http://maps.google.de/maps?q=52.8680%0911.4360&hl=de
39	Küsten	3638762	5873605	19.58	http://maps.google.de/maps?q=52.9769%0911.0648&hl=de
40	Arendsee (Altmark)	3667627	5863933	19.62	http://maps.google.de/maps?q=52.8818%0911.4891&hl=de
41	Malliß	3655642	5900395	19.96	http://maps.google.de/maps?q=53.2128%0911.3288&hl=de
42	Binde	3660813	5860638	20.19	http://maps.google.de/maps?q=52.8543%0911.3864&hl=de
43	Riebau	3653393	5860619	20.21	http://maps.google.de/maps?q=52.8563%0911.2763&hl=de
44	Malk Göhren	3658841	5900709	20.30	http://maps.google.de/maps?q=53.2147%0911.3768&hl=de
45	Pollitz	3676544	5873937	20.52	http://maps.google.de/maps?q=52.9688%0911.6269&hl=de
46	Chüden	3650018	5860851	20.87	http://maps.google.de/maps?q=52.8593%0911.2264&hl=de
47	Groß Garz	3675507	5870031	21.17	http://maps.google.de/maps?q=52.9340%0911.6094&hl=de
48	Mellen	3673230	5894329	21.26	http://maps.google.de/maps?q=53.1529%0911.5886&hl=de
49	Cumlosen	3678359	5880971	21.27	http://maps.google.de/maps?q=53.0313%0911.6578&hl=de
50	Woosmer	3645731	5898868	21.61	http://maps.google.de/maps?q=53.2019%0911.1799&hl=de

6. List of municipalities (continued)

No	Municipality	GK3_R	GK3_H	km	GoogleMaps
51	Karenz	3656623	5902363	21.88	http://maps.google.de/maps?q=53.2302%0911.3445&hl=de
52	Milow	3669851	5898492	22.07	http://maps.google.de/maps?q=53.1914%0911.5403&hl=de
53	Boberow	3675104	5893504	22.22	http://maps.google.de/maps?q=53.1449%0911.6161&hl=de
54	Eldena	3661778	5902597	22.60	http://maps.google.de/maps?q=53.2307%0911.4217&hl=de
55	Karwitz	3635116	5885825	22.62	http://maps.google.de/maps?q=53.0876%0911.0157&hl=de
56	Leppin	3673185	5864522	22.67	http://maps.google.de/maps?q=52.8853%0911.5719&hl=de
57	Niendorf an der Rögnitz	3651059	5902467	22.79	http://maps.google.de/maps?q=53.2327%0911.2613&hl=de
58	Luckau (Wendland)	3637881	5868118	22.85	http://maps.google.de/maps?q=52.9278%0911.0494&hl=de
59	Thielbeer	3667228	5859997	22.86	http://maps.google.de/maps?q=52.8466%0911.4812&hl=de
60	Pretzier	3652505	5858070	22.88	http://maps.google.de/maps?q=52.8337%0911.2619&hl=de
61	Tripkau	3640753	5896579	22.93	http://maps.google.de/maps?q=53.1827%0911.1045&hl=de
62	Dadow	3666318	5901667	23.10	http://maps.google.de/maps?q=53.2210%0911.4892&hl=de
63	Grebs	3654822	5903520	23.15	http://maps.google.de/maps?q=53.2411%0911.3181&hl=de
64	Wahrenberg	3679940	5875637	23.35	http://maps.google.de/maps?q=52.9829%0911.6783&hl=de
65	Klein Gartz	3656311	5857095	23.40	http://maps.google.de/maps?q=52.8238%0911.3179&hl=de
66	Grebs-Niendorf	3653387	5903788	23.60	http://maps.google.de/maps?q=53.2439%0911.2968&hl=de
67	Tewswoos	3647141	5901928	23.64	http://maps.google.de/maps?q=53.2290%0911.2024&hl=de
68	Salzwedel	3645139	5859992	23.73	http://maps.google.de/maps?q=52.8530%0911.1536&hl=de
69	Vissum	3658854	5856729	23.82	http://maps.google.de/maps?q=52.8198%0911.3554&hl=de
70	Bresegard bei Eldena	3658192	5904312	23.85	http://maps.google.de/maps?q=53.2472%0911.3689&hl=de
71	Pröttlin	3672073	5899082	23.88	http://maps.google.de/maps?q=53.1959%0911.5739&hl=de
72	Hitzacker (Elbe)	3636344	5892697	24.08	http://maps.google.de/maps?q=53.1490%0911.0369&hl=de
73	Königstedt	3653790	5856369	24.34	http://maps.google.de/maps?q=52.8180%0911.2802&hl=de
74	Neulingen	3673229	5862250	24.35	http://maps.google.de/maps?q=52.8649%0911.5714&hl=de
75	Mankmuß	3678545	5892096	24.39	http://maps.google.de/maps?q=53.1311%0911.6667&hl=de
76	Sanne-Kerkuhn	3663865	5856870	24.57	http://maps.google.de/maps?q=52.8196%0911.4298&hl=de
77	Laaslich	3680528	5888703	24.83	http://maps.google.de/maps?q=53.1000%0911.6944&hl=de
78	Brietz	3640548	5861711	25.03	http://maps.google.de/maps?q=52.8696%0911.0862&hl=de
79	Heiligenfelde	3668340	5857802	25.32	http://maps.google.de/maps?q=52.8266%0911.4966&hl=de
80	Stappenbeck	3650419	5855752	25.62	http://maps.google.de/maps?q=52.8134%0911.2300&hl=de
81	Höwisch	3676160	5863371	25.62	http://maps.google.de/maps?q=52.8740%0911.6155&hl=de
82	Seebenau	3637322	5864049	25.71	http://maps.google.de/maps?q=52.8914%0911.0393&hl=de
83	Böddenstedt	3643012	5858971	25.71	http://maps.google.de/maps?q=52.8444%0911.1216&hl=de
84	Bentwisch	3682894	5882043	25.85	http://maps.google.de/maps?q=53.0394%0911.7259&hl=de
85	Waddeweitz	3631639	5875524	25.93	http://maps.google.de/maps?q=52.9959%0910.9596&hl=de
86	Vielank	3642960	5902448	26.12	http://maps.google.de/maps?q=53.2348%0911.1401&hl=de
87	Rademin	3657572	5854229	26.26	http://maps.google.de/maps?q=52.7977%0911.3352&hl=de
88	Gagel	3673698	5860101	26.29	http://maps.google.de/maps?q=52.8455%0911.5772&hl=de
89	Fleetmark	3661258	5853992	26.82	http://maps.google.de/maps?q=52.7945%0911.3897&hl=de
90	Kaarßen	3636566	5897757	26.83	http://maps.google.de/maps?q=53.1943%0911.0424&hl=de
91	Krüden	3681518	5869114	26.94	http://maps.google.de/maps?q=52.9238%0911.6981&hl=de
92	Nebelin	3682468	5889773	27.02	http://maps.google.de/maps?q=53.1089%0911.7239&hl=de
93	Glaisin	3657940	5907685	27.21	http://maps.google.de/maps?q=53.2776%0911.3668&hl=de
94	Leussow	3652613	5907523	27.41	http://maps.google.de/maps?q=53.2777%0911.2870&hl=de
95	Liesten	3654838	5853094	27.48	http://maps.google.de/maps?q=52.7883%0911.2942&hl=de
96	Steinitz	3642658	5857007	27.56	http://maps.google.de/maps?q=52.8268%0911.1155&hl=de
97	Mahlsdorf	3650677	5853525	27.71	http://maps.google.de/maps?q=52.7934%0911.2328&hl=de
98	Benkendorf	3652978	5853079	27.71	http://maps.google.de/maps?q=52.7887%0911.2666&hl=de
99	Wittenberge	3684801	5877009	27.92	http://maps.google.de/maps?q=52.9936%0911.7514&hl=de
100	Geestgottberg	3683894	5872631	27.93	http://maps.google.de/maps?q=52.9546%0911.7354&hl=de
101	Garlin	3679115	5897943	28.10	http://maps.google.de/maps?q=53.1834%0911.6785&hl=de
102	Clenze	3631468	5868931	28.11	http://maps.google.de/maps?q=52.9367%0910.9544&hl=de
103	Kleinau	3669479	5854874	28.45	http://maps.google.de/maps?q=52.7999%0911.5119&hl=de
104	Kossebau	3672988	5856866	28.47	http://maps.google.de/maps?q=52.8167%0911.5649&hl=de
105	Losse	3680001	5863533	28.50	http://maps.google.de/maps?q=52.8742%0911.6725&hl=de

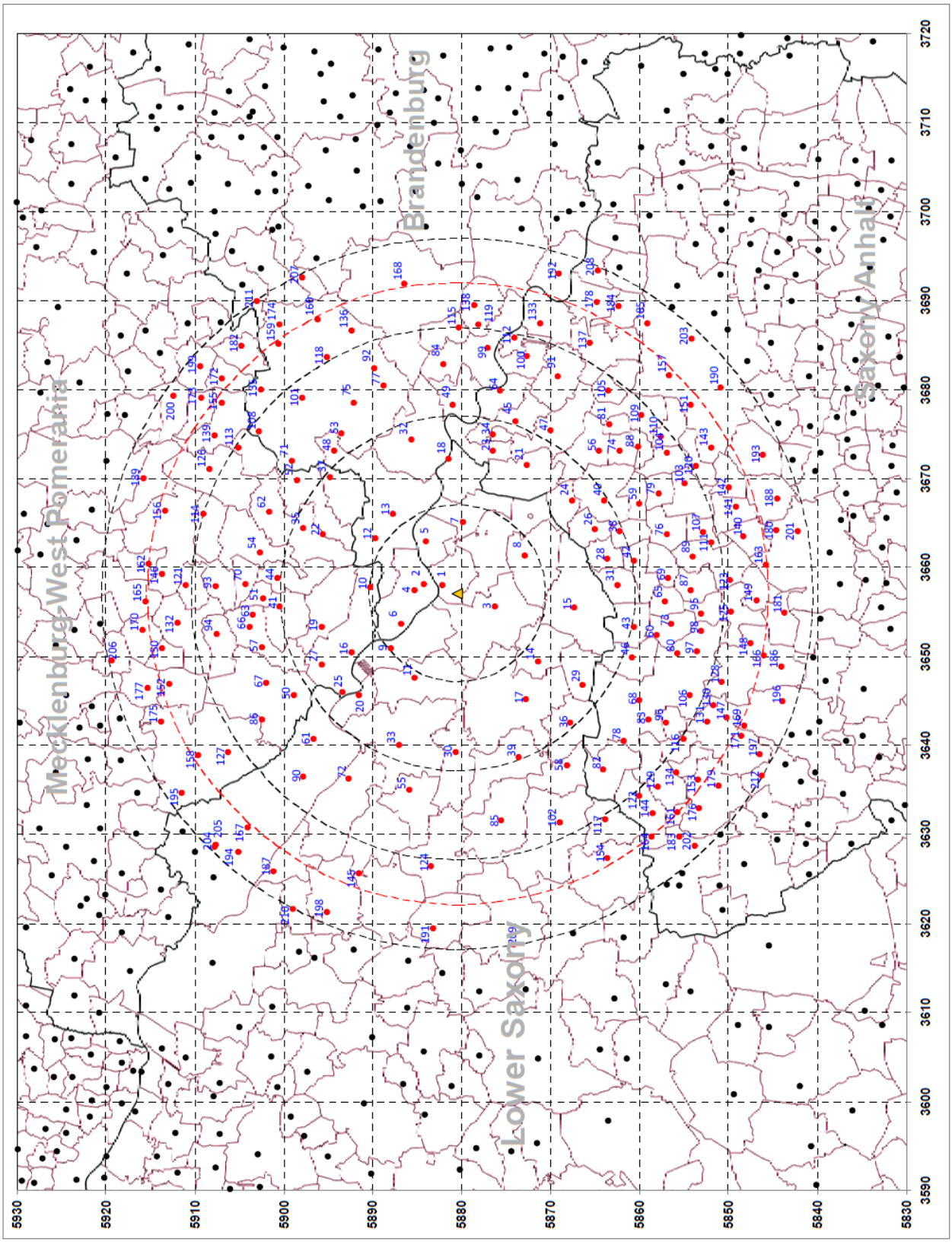
6. List of municipalities (continued)

No	Municipality	GK3_R	GK3_H	km	GoogleMaps
106	Dambeck in ST	3645708	5854354	28.50	http://maps.google.de/maps?q=52.8022%0911.1595&hl=de
107	Kerkau	3664015	5852822	28.52	http://maps.google.de/maps?q=52.7832%0911.4300&hl=de
108	Groß Warnow	3675328	5902807	28.82	http://maps.google.de/maps?q=53.2283%0911.6245&hl=de
109	Bretsch	3677221	5859736	28.91	http://maps.google.de/maps?q=52.8411%0911.6292&hl=de
110	Lückstedt	3674854	5857539	29.02	http://maps.google.de/maps?q=52.8221%0911.5930&hl=de
111	Lübars	3662874	5851882	29.18	http://maps.google.de/maps?q=52.7751%0911.4126&hl=de
112	Losenrade	3685845	5873994	29.47	http://maps.google.de/maps?q=52.9661%0911.7652&hl=de
113	Kremmin	3673493	5905133	29.60	http://maps.google.de/maps?q=53.2498%0911.5984&hl=de
114	Karstädt in MV	3666111	5908990	29.90	http://maps.google.de/maps?q=53.2868%0911.4899&hl=de
115	Weisen	3687028	5880250	29.93	http://maps.google.de/maps?q=53.0219%0911.7864&hl=de
116	Wieblitz-Eversdorf	3640794	5855066	30.20	http://maps.google.de/maps?q=52.8099%0911.0870&hl=de
117	Bergen an der Dumme	3631730	5863824	30.35	http://maps.google.de/maps?q=52.8908%0910.9562&hl=de
118	Karstädt in BB	3683742	5895133	30.41	http://maps.google.de/maps?q=53.1566%0911.7460&hl=de
119	Breese	3687435	5878086	30.44	http://maps.google.de/maps?q=53.0023%0911.7912&hl=de
120	Boock	3671428	5853594	30.47	http://maps.google.de/maps?q=52.7878%0911.5401&hl=de
121	Göhlen	3658072	5911005	30.53	http://maps.google.de/maps?q=53.3073%0911.3705&hl=de
122	Andorf	3634376	5860028	30.57	http://maps.google.de/maps?q=52.8561%0910.9939&hl=de
123	Lüge	3658718	5849824	30.70	http://maps.google.de/maps?q=52.7578%0911.3501&hl=de
124	Zernien	3626455	5883367	30.77	http://maps.google.de/maps?q=53.0676%0910.8855&hl=de
125	Jeggeleben	3655153	5849728	30.82	http://maps.google.de/maps?q=52.7580%0911.2973&hl=de
126	Grabow,Stadt	3671118	5908283	31.13	http://maps.google.de/maps?q=53.2788%0911.5645&hl=de
127	Jessenitz	3639379	5906253	31.27	http://maps.google.de/maps?q=53.2699%0911.0881&hl=de
128	Altensalzwedel	3647183	5850794	31.30	http://maps.google.de/maps?q=52.7698%0911.1798&hl=de
129	Osterwohle	3635418	5857897	31.31	http://maps.google.de/maps?q=52.8367%0911.0085&hl=de
130	Schieben	3644584	5851698	31.39	http://maps.google.de/maps?q=52.7786%0911.1417&hl=de
131	Kuhfelde	3642734	5852377	31.56	http://maps.google.de/maps?q=52.7852%0911.1146&hl=de
132	AltKrenzlin	3653912	5911974	31.65	http://maps.google.de/maps?q=53.3172%0911.3086&hl=de
133	Beuster	3687475	5871142	31.79	http://maps.google.de/maps?q=52.9400%0911.7878&hl=de
134	Tylsen	3637059	5855784	31.81	http://maps.google.de/maps?q=52.8173%0911.0320&hl=de
135	Reckenzin	3680014	5902550	31.81	http://maps.google.de/maps?q=53.2244%0911.6945&hl=de
136	Premslin	3686696	5892319	31.88	http://maps.google.de/maps?q=53.1303%0911.7885&hl=de
137	Seehausen (Altmark)	3685361	5865532	31.98	http://maps.google.de/maps?q=52.8904%0911.7532&hl=de
138	Groß Breese	3689503	5878507	32.47	http://maps.google.de/maps?q=53.0054%0911.8222&hl=de
139	Prislich	3674958	5907756	32.60	http://maps.google.de/maps?q=53.2729%0911.6217&hl=de
140	Jeetze	3663581	5848316	32.82	http://maps.google.de/maps?q=52.7428%0911.4213&hl=de
141	Brunau	3666891	5849104	32.88	http://maps.google.de/maps?q=52.7489%0911.4706&hl=de
142	Packebusch	3669110	5849882	32.88	http://maps.google.de/maps?q=52.7552%0911.5039&hl=de
143	Gladigau	3673487	5851844	33.00	http://maps.google.de/maps?q=52.7714%0911.5697&hl=de
144	Henningen	3632437	5858449	33.07	http://maps.google.de/maps?q=52.8424%0910.9645&hl=de
145	Göhrde	3625732	5891482	33.23	http://maps.google.de/maps?q=53.1406%0910.8779&hl=de
146	Kummer	3659337	5913695	33.28	http://maps.google.de/maps?q=53.3311%0911.3908&hl=de
147	Valfitz	3643230	5850166	33.34	http://maps.google.de/maps?q=52.7652%0911.1210&hl=de
148	Winterfeld	3651544	5847534	33.42	http://maps.google.de/maps?q=52.7393%0911.2428&hl=de
149	Badel	3656404	5846766	33.73	http://maps.google.de/maps?q=52.7311%0911.3144&hl=de
150	Groß Krams	3651021	5913715	33.78	http://maps.google.de/maps?q=53.3337%0911.2661&hl=de
151	Rossau	3678326	5854211	33.78	http://maps.google.de/maps?q=52.7911%0911.6426&hl=de
152	Belsch	3646955	5912875	33.94	http://maps.google.de/maps?q=53.3273%0911.2047&hl=de
153	Wallstawe	3636272	5853462	34.12	http://maps.google.de/maps?q=52.7966%0911.0193&hl=de
154	Schnega	3627411	5863654	34.12	http://maps.google.de/maps?q=52.8903%0910.8920&hl=de
155	Werle	3678622	5906969	34.13	http://maps.google.de/maps?q=53.2646%0911.6762&hl=de
156	Ludwigslust	3666435	5913319	34.14	http://maps.google.de/maps?q=53.3255%0911.4970&hl=de
157	Krevese	3681641	5856642	34.22	http://maps.google.de/maps?q=52.8118%0911.6930&hl=de
158	Lübtheen	3638932	5909630	34.34	http://maps.google.de/maps?q=53.3003%0911.0829&hl=de
159	Dallmin	3685211	5900559	34.55	http://maps.google.de/maps?q=53.2048%0911.7711&hl=de
160	Blüthen	3687995	5896179	34.66	http://maps.google.de/maps?q=53.1645%0911.8101&hl=de
161	Langenapel	3632576	5855739	34.84	http://maps.google.de/maps?q=52.8180%0910.9655&hl=de

6. List of municipalities (continued)

No	Municipality	GK3_R	GK3_H	km	GoogleMaps
162	Warlow	3660525	5915159	34.84	http://maps.google.de/maps?q=53.3439%0911.4093&hl=de
163	Güssefeld	3660399	5845711	34.93	http://maps.google.de/maps?q=52.7204%0911.3729&hl=de
164	Barnebeck	3629799	5858625	34.97	http://maps.google.de/maps?q=52.8446%0910.9255&hl=de
165	Picher	3656304	5915509	35.03	http://maps.google.de/maps?q=53.3483%0911.3462&hl=de
166	Apenburg-Winterfeld	3650156	5845943	35.23	http://maps.google.de/maps?q=52.7254%0911.2216&hl=de
167	Stapel	3630830	5904064	35.29	http://maps.google.de/maps?q=53.2524%0910.9592&hl=de
168	Perleberg	3692012	5886480	35.43	http://maps.google.de/maps?q=53.0760%0911.8643&hl=de
169	Gischau	3642287	5848180	35.54	http://maps.google.de/maps?q=52.7476%0911.1061&hl=de
170	Bresegard bei Picher	3653106	5915816	35.55	http://maps.google.de/maps?q=53.3520%0911.2983&hl=de
171	Siedenlangenbeck	3641107	5848559	35.71	http://maps.google.de/maps?q=52.7514%0911.0888&hl=de
172	Balow	3681372	5906916	35.89	http://maps.google.de/maps?q=53.2632%0911.7173&hl=de
173	Zierzow	3679136	5909278	36.26	http://maps.google.de/maps?q=53.2851%0911.6851&hl=de
174	Kribbe	3687390	5900428	36.27	http://maps.google.de/maps?q=53.2028%0911.8036&hl=de
175	Gößlow	3642742	5913803	36.28	http://maps.google.de/maps?q=53.3368%0911.1419&hl=de
176	Ellenberg	3633030	5853304	36.30	http://maps.google.de/maps?q=52.7960%0910.9712&hl=de
177	Redefin	3646566	5915261	36.33	http://maps.google.de/maps?q=53.3488%0911.1999&hl=de
178	Schönberg	3689953	5864750	36.43	http://maps.google.de/maps?q=52.8817%0911.8209&hl=de
179	Gieseritz	3635552	5851053	36.47	http://maps.google.de/maps?q=52.7752%0911.0077&hl=de
180	Kahrstedt	3664258	5844589	36.60	http://maps.google.de/maps?q=52.7092%0911.4294&hl=de
181	Zethlingen	3655001	5843663	36.88	http://maps.google.de/maps?q=52.7036%0911.2921&hl=de
182	Dambeck in MV	3684935	5904740	36.92	http://maps.google.de/maps?q=53.2424%0911.7694&hl=de
183	Dolsleben	3629840	5855528	36.96	http://maps.google.de/maps?q=52.8168%0910.9248&hl=de
184	Falkenberg	3689436	5862378	37.07	http://maps.google.de/maps?q=52.8606%0911.8118&hl=de
185	Dobbrun	3687514	5859097	37.19	http://maps.google.de/maps?q=52.8319%0911.7814&hl=de
186	Apenburg	3648984	5844013	37.36	http://maps.google.de/maps?q=52.7084%0911.2034&hl=de
187	Neu Darchau	3625897	5901200	37.45	http://maps.google.de/maps?q=53.2279%0910.8842&hl=de
188	Vienau	3667864	5844488	37.57	http://maps.google.de/maps?q=52.7072%0911.4827&hl=de
189	Groß Laasch	3670095	5915748	37.58	http://maps.google.de/maps?q=53.3462%0911.5532&hl=de
190	Flessau	3680289	5850821	37.66	http://maps.google.de/maps?q=52.7600%0911.6698&hl=de
191	Stoetze	3619480	5883217	37.71	http://maps.google.de/maps?q=53.0679%0910.7814&hl=de
192	Rühstädt	3693117	5869020	37.80	http://maps.google.de/maps?q=52.9189%0911.8703&hl=de
193	Meßdorf	3672754	5846068	37.81	http://maps.google.de/maps?q=52.7198%0911.5558&hl=de
194	Haar	3628130	5905134	38.03	http://maps.google.de/maps?q=53.2627%0910.9192&hl=de
195	Garlitz	3634755	5911488	38.21	http://maps.google.de/maps?q=53.3181%0911.0211&hl=de
196	Hohentramm	3645094	5843950	38.46	http://maps.google.de/maps?q=52.7089%0911.1458&hl=de
197	Püggen	3639103	5846422	38.52	http://maps.google.de/maps?q=52.7327%0911.0583&hl=de
198	Nahrendorf	3621393	5895103	38.58	http://maps.google.de/maps?q=53.1742%0910.8145&hl=de
199	Möllenbeck LL	3682700	5909423	38.64	http://maps.google.de/maps?q=53.2852%0911.7386&hl=de
200	Muchow	3679318	5912444	38.93	http://maps.google.de/maps?q=53.3135%0911.6897&hl=de
201	Altmersleben	3664145	5842184	38.95	http://maps.google.de/maps?q=52.6876%0911.4266&hl=de
202	Dähre	3628772	5853711	38.97	http://maps.google.de/maps?q=52.8007%0910.9083&hl=de
203	Osterburg (Altmark)	3685827	5854134	38.99	http://maps.google.de/maps?q=52.7879%0911.7536&hl=de
204	Neuhaus/Elbe	3628932	5907672	39.14	http://maps.google.de/maps?q=53.2853%0910.9322&hl=de
205	Amt Neuhaus	3628715	5907718	39.33	http://maps.google.de/maps?q=53.2857%0910.9290&hl=de
206	Kuhstorf	3649594	5919298	39.53	http://maps.google.de/maps?q=53.3842%0911.2473&hl=de
207	Reetz	3692690	5897919	39.64	http://maps.google.de/maps?q=53.1784%0911.8813&hl=de
208	Neukirchen (Altmark)	3693500	5864663	39.70	http://maps.google.de/maps?q=52.8797%0911.8734&hl=de
209	Rosche	3617724	5874134	39.88	http://maps.google.de/maps?q=52.9867%0910.7520&hl=de
210	Tosterglope	3621696	5898934	39.92	http://maps.google.de/maps?q=53.2085%0910.8205&hl=de
211	Neuhausen	3690022	5903055	39.92	http://maps.google.de/maps?q=53.2255%0911.8445&hl=de
212	Bierstedt	3636677	5846179	39.92	http://maps.google.de/maps?q=52.7311%0911.0223&hl=de

7. **Municipalities (areas and positions) and 10-km/35-km distance rings in GK3 coordinates (R / H – horizontal / vertical axes) in km; Yellow triangle in the centre: TBL Gorleben**



10 FactSheet Remlingen

Dr. Hagen Scherb
Dr. Kristina Voigt
Dipl.-Ing. Ralf Kusmierz
ICB/HMGU

30.10.2014

Geschlechterverhältnis (SO, sex odds) der Geburten in Remlingen/Asse 1971 – 2012

Jahr	männlich	weiblich		männlich	weiblich	SO
1971	21	12				1.7500
1972	13	10				1.3000
1973	13	7	**Offizielle Betriebsphase Asse**			1.8571
1974	18	13	**(1965-1978) + 1 Jahr Nachlauf**			1.3846
1975	9	8	**wegen Schwangerschaftsdauer**			1.1250
1976	13	14				0.9286
1977	9	8				1.1250
1978	14	6				**2.3333**
1979	11	7	**Summe 1971-1979**	**121**	**85**	**1.4235**
1980	13	9				1.4444
1981	8	12				0.6667
1982	12	6				2.0000
1983	6	6				1.0000
1984	7	9				0.7778
1985	2	7				0.2857
1986	7	8				0.8750
1987	17	8				2.1250
1988	18	9				2.0000
1989	15	7	**Nach der offiziellen Betriebsphase**			2.1429
1990	11	8	**+ Nachlauf**			1.3750
1991	15	4				3.7500
1992	13	7				1.8571
1993	7	11				0.6364
1994	8	11				0.7273
1995	9	11				0.8182
1996	11	6				1.8333
1997	12	7				1.7143
1998	10	9				1.1111
1999	10	7				1.4286
2000	16	9				1.7778
2001	13	11				1.1818
2002	5	6				0.8333
2003	11	5				2.2000
2004	4	11				0.3636
2005	12	2				6.0000
2006	3	7				0.4286
2007	9	7				1.2857
2008	5	5				**1.0000**
2009	5	10				**0.5000**
2010	7	6				**1.1667**
2011	8	4				**2.0000**
2012	4	6	**Summe 1980-2009**	**313**	**251**	**1.2470**
	434	**336**	**Gesamtsumme**	**434**	**336**	**1.2917**

Geschlechterverhältnis(SO, sex odds) der Geburten in Remlingen/Asse, 1971 – 2012, nach Einlagerungsphasen in der Schachtanlage mit p-Werten des Tests gegen das globale Geschlechterverhältnis in Deutschland ohne Remlingen, 1971 – 2012

Geburten in Remlingen	gesamt	männlich	weiblich	SO	p-Wert vs. 1.0557*
Betriebsphase der Asse + 1 Jahr Nachlauf wg. Schwangerschaft 1971-1979	206	121	85	1.4235	**0.0339**
Nach der Betriebsphase der Asse + 1 Jahr Nachlauf wg. Schwangerschaft 1980-2012	564	313	251	1.2470	**0.0476**
Alle Daten 1971-2012	770	434	336	1.2917	**0.0052**

* Normalwert Deutschland 1971 - 2012 ohne Remlingen