

tersuchten deshalb die Machbarkeit einer ökologischen Studie auf der Grundlage von nach Geschlecht geordneten amtlichen jährlichen Geburtenraten aller Gemeinden Belgiens, der Schweiz und der deutschen Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz. Ihre Analysen umfassen 316.360 Gemeinde- bzw. Bezirks-Jahre mit 22.643.476 Lebendgeburten und einem Geschlechterverhältnis (männliche/weibliche Lebendgeburten) von 1,0546. Während des Betriebs der 28 untersuchten kerntechnischen Anlagen in Deutschland und der Schweiz, unter Berücksichtigung des Zeitverzugs für die Schwangerschaft und im Umkreis von 5 Kilometern um diese Anlagen, stellten Kusmierz und Kollegen eine nicht-signifikant erhöhte Geschlechterverteilung fest, wobei sich ge-

genüber dem Rest des Untersuchungsgebietes und in Zeiten der Stilllegung ein Verteilungsverhältnis (sex odds ratio,  $SOR$ ) von  $SOR_{5km} = 1,0056$ ,  $p = 0,3615$  ergab. Jedoch sind innerhalb der Entfernungen von 15, 30 und 50 Kilometern signifikant ( $p$  kleiner als 0,05) oder grenzwertig signifikant erhöhte Verteilungsverhältnisse zu beobachten:  $SOR_{15km} = 1,0040$ ,  $p = 0,0463$ ,  $SOR_{30km} = 1,0035$ ,  $p = 0,0026$  und  $SOR_{50km} = 1,0017$ ,  $p = 0,0567$ . Eine Rayleigh-Funktion ergibt bei 14,4 Kilometern (95%-Konfidenzintervall  $KI = [10,9 \text{ km}; 29,3 \text{ km}]$ ) einen signifikanten  $SOR$ -Peak von 1,0051 ( $p=0,0023$ ). Außerdem gibt es eine Assoziation der reziproken Entfernung ( $1/r$ ) mit der Geschlechterverteilung jenseits von 10 Kilometern Entfernung von der kerntechnischen Anlage ( $p = 0,0016$ ).

Damit, so die Autoren, ist die Evidenz für einen weitreichenden genetischen Effekt in der Umgebung von 28 kerntechnischen Anlagen in Deutschland und der Schweiz erwiesen.

1. Ralf Kusmierz, Kristina Voigt, Hagen Scherb: 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 24<sup>th</sup> International Conference on Informatics for Environmental Protection*, Cologne/Bonn, Germany, pp. 616-626, Shaker Verlag, Aachen 2010. <http://ibb.helmholtz-muenchen.de/homepage/hagen.scherb/KusmierzVoigtScherbEnviroInfoBonn2010.pdf>
2. [www.strahlentelex.de/kinderkrebs\\_bei\\_atomkraftwerken.htm](http://www.strahlentelex.de/kinderkrebs_bei_atomkraftwerken.htm)
3. Hagen Scherb: 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, [www.strahlentelex.de/Stx\\_10\\_558\\_S01-04.pdf](http://www.strahlentelex.de/Stx_10_558_S01-04.pdf)

Alfred Körblein: Geschlechterverhältnis bei der Geburt in Bayern nach Tschernobyl, *Strahlentelex* 556-557 v. 4.3.2010, S.7-10, [www.strahlentelex.de/Stx\\_10\\_556\\_S07-10.pdf](http://www.strahlentelex.de/Stx_10_556_S07-10.pdf)

Alfred Körblein: Säuglingssterblichkeit und Geschlechterverhältnis nach den atmosphärischen Atomwaffentests, *Strahlentelex* 554-555 v. 4.2.2010, S.1-5, [www.strahlentelex.de/Stx\\_10\\_554\\_S01-05.pdf](http://www.strahlentelex.de/Stx_10_554_S01-05.pdf)

Alfred Körblein: Auswirkungen der oberirdischen Atomwaffentests, *Strahlentelex* 572-573 v. 04.11.2010, S. 4-6, [www.strahlentelex.de/Stx\\_10\\_572\\_S04-06.pdf](http://www.strahlentelex.de/Stx_10_572_S04-06.pdf)

Nachfolgend eine Teilanalyse der Geschlechtschancen bei der Geburt in der Umgebung der bayerischen Atomkraftwerke.

## Epidemiologie

# Geschlechterverteilung in der Umgebung bayerischer Kernkraftwerke

**Geschlechtschancen bei der Geburt in Bayern von 1972 bis 2008 in Abhängigkeit vom Abstand zum nächstgelegenen bayerischen Kernkraftwerk oder zur nächstgelegenen Nuklearanlage in Deutschland und in der Schweiz während deren Laufzeiten**

Von Ralf Kusmierz\*, Kristina Voigt†, Hagen Scherb†

## Hintergrund und Motivation

Im Oktober 2010 haben wir in einer vorläufigen Machbarkeitsstudie [1] gezeigt, dass die Geschlechtschance (Sex Odds,  $SO$ , Verhältnis männli-

che/weibliche Lebendgeburten) des Menschen in der Schweiz und in Deutschland im 35-Kilometer-Umkreis und innerhalb der Laufzeiten von 28 Nuklearanlagen signifikant erhöht ist gegenüber weiter entfernten Gebieten sowie außerhalb der entsprechenden Laufzeiten. Dazu wurden vollständige amtliche Geburtenzahlen nach dem Geschlecht auf Gemeindeebene (Wohnort der Mutter zum Zeitpunkt der Geburt) in der Schweiz und in

den deutschen Bundesländern Bayern, Baden-Württemberg, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz verwendet. Zur Berechnung des Abstands der Gemeinden von Nuklearanlagen wurden die geographischen Koordinaten der Gemeindemittelpunkte herangezogen.

Nachdem Tschernobyl ganz offensichtlich eine massive andauernde Veränderung der Geschlechtschance in ganz Europa hervorgerufen hat [3, 4], bestätigt die festgestellte Erhöhung der Sex Odds in Deutschland und in der Schweiz um Nuklearanlagen qualitativ den Befund der KiKK-Studie [2] einer erhöhten Krebsrate bei Kindern in der Umgebung deutscher Kernkraftwerke (KKW).

Weil standortabhängige Unterschiede in den Ergebnissen zu erwarten sind, soll in diesem Kurz-Beitrag exemplarisch die Situation in Bayern dargestellt werden. Interessant daran ist die Frage, wie und

wie stark in einer einzelnen Region die Ergebnisse von denen der oben genannten Studie, die 6 Regionen umfasst, abweichen können. Dazu werden zwei geeignete Modellfunktionen betrachtet: 1. eine Rayleigh-Funktion und 2. eine abstandsreziproke Funktion ( $1/r$ ) analog zur KiKK-Studie. Für diese Modellfunktionen werden deren Parameter für die Abstände der bayerischen Gemeinden von den drei bayerischen Kernkraftwerksstandorten Isar, Grafenrheinfeld und Gundremmingen geschätzt und zusammen mit Konfidenzintervallen und  $p$ -Werten angegeben.

In einem zweiten Schritt wurde untersucht, inwieweit alle anderen Nuklearanlagen in unserer Studie [1], also insbesondere die an Bayern angrenzenden Anlagen, wie zum Beispiel am statistisch nicht trennbaren Standortbereich Hanau/Kahl, das auf Bayern und bayrische KKW be-

\* ralf.kusmierz@bremen.de

† Institut für Biomathematik und Biometrie, Helmholtz Zentrum München - Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt, Ingolstädter Landstraße 1, D-85764 Neuherberg

schränkte Ergebnis verändern, wenn man diese außerbayerischen Anlagen bei der Abstandsermittlung mit berücksichtigt. Dazu betrachten wir exemplarisch ebenfalls das Rayleigh-Modell sowie das abstandsreziproke Modell ( $1/r$ ). Wenn die KKW und Nuklearanlagen außerhalb der Grenzen Bayerns einen weitreichenden Einfluss ausüben, wovon wir aufgrund unserer bisherigen Ergebnisse ausgehen müssen, dann ist wegen minimierter Fehlklassifikation, insbesondere an den Grenzen Bayerns, mit genaueren Resultaten für Bayern zu rechnen.

### Ergebnisse

Abbildung 1 zeigt die Geschlechtschance in Bayern in der Zusammenfassung aller Jahre von 1972 bis 2008 in 1 Kilometer breiten Abstandskategorien um die drei KKW-Standorte in Bayern während der Laufzeiten dieser Kraftwerke. Auffällig an diesen Daten ist ein Peak zwischen 3 und 4 Kilometer Abstand von einem KKW in Bayern. Gleichwohl führt diese Auffälligkeit im Nahbereich nicht zu einem signifikanten Effekt in der 35-Kilometer-Zone. In dieser Zone war der Effekt in unserer Studie [1] mit einem Geschlechtschancenverhältnis (Sex Odds Ratio, SOR) von 1,0035,  $p=0,0006$  relativ deutlich ausgeprägt. In Bayern gibt es in der 35-km-Zone lediglich eine konsistente Erhöhung mit einer  $SOR=1,0014$  und mit dem  $p$ -Wert von  $p=0,6401$ . Allerdings ist das Konfidenzintervall für die Sprunghöhe 1,0014 sehr breit, und das Ergebnis für Bayern ist folglich nicht unverträglich mit dem Ergebnis in unserer Studie [1].

Abbildung 1 enthält auch den Abstandstrend mit einem Trendmodell basierend auf einer Rayleigh-Funktion. Der Vorteil dieser Funktion besteht darin, dass sie keine Abstandskategorie, wie zum Beispiel 35 Kilometer, willkür-

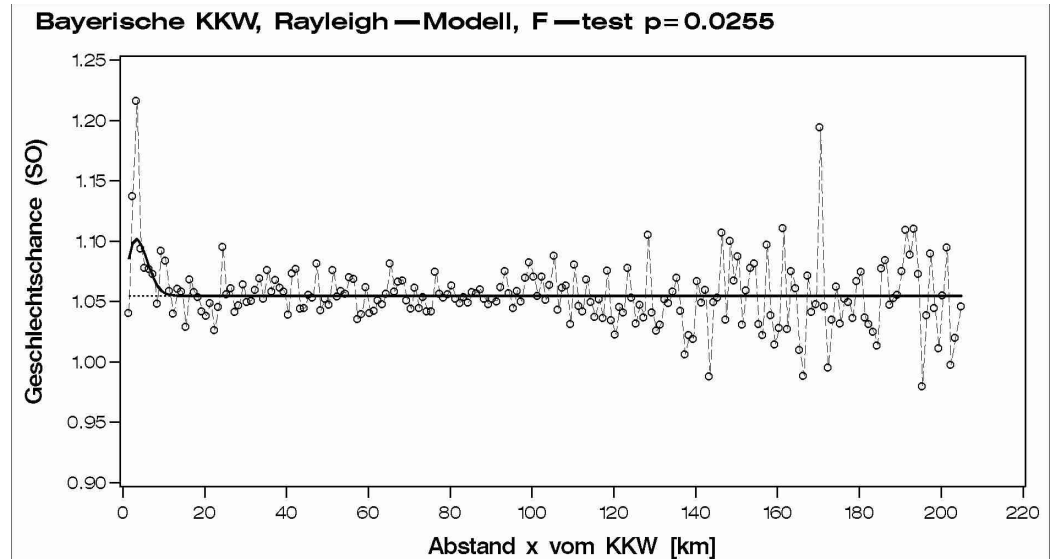


Abbildung 1: Geschlechtschance in Bayern nach Abstand von einem Kernkraftwerk und einem Trendmodell basierend auf einer Rayleighfunktion;  $\ln(SO) = a + b \times x \times \exp(-c \times x^2)$ ;  $a = 0,0532$ , 95%-KI = [0,0514; 0,0550];  $b = 0,0214$ , 95%-KI = [-0,0048; 0,0476];  $c = 0,0439$ , 95%-KI = [0,0062; 0,0815];  $SOR_{max} = 1,0448$ ; Maximum = 3,4 km, 95%-KI=[2,5 km; 9,0 km].

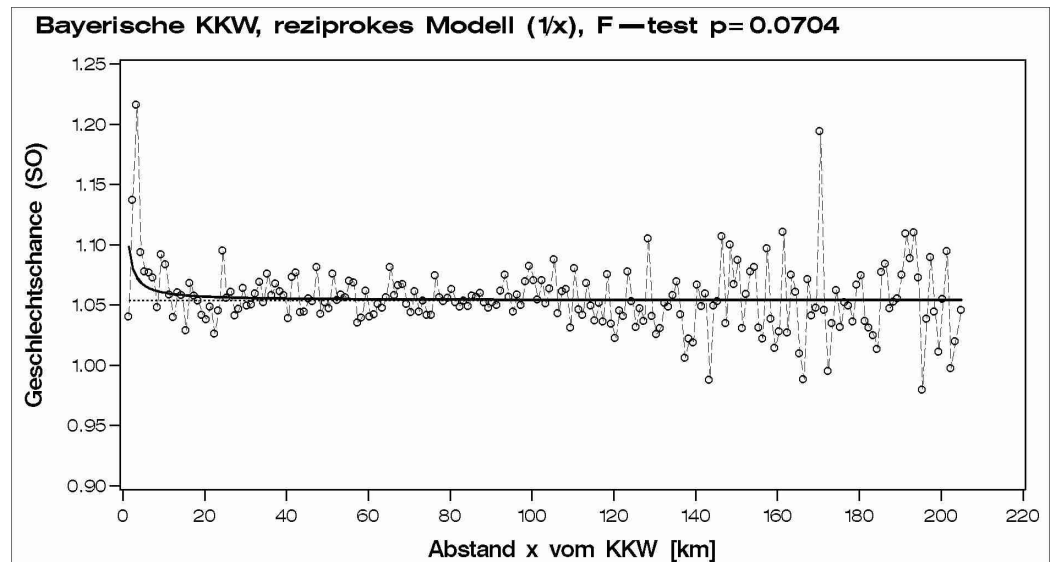


Abbildung 2: Geschlechtschance in Bayern nach Abstand von einem Kernkraftwerk und Trendmodell basierend auf einer einfachen reziproken Funktion ( $1/x$ ).  $\ln(SO) = a + b/x$ ;  $a = 0,0523$ , 95%-KI = [0,0500; 0,0545];  $b = 0,0618$ , 95%-KI = [-0,0048; 0,1285].

lich vorgibt. Diese Funktion liefert für die bayerischen Daten eine signifikante Anpassung mit einem  $p$ -Wert von  $p=0,0255$ .

Abbildung 2 zeigt den Abstandstrend mit einem Trendmodell basierend auf einem einfachen reziproken Abstandsgesetz ( $1/r$ ). Dieser Ansatz erfolgt analog der Hauptfragestellung in der KiKK-Studie. Auch mit den rein bayerischen Daten ist dieses Modell, ähnlich wie in unserer Studie nur „borderline-signifikant“,  $p=0,0704$ . In unserer Studie war dieser  $p$ -Wert mit

$p=0,1240$  noch etwas höher.

Nun soll geprüft werden, was sich ändert, wenn wir anstelle der 3 KKW in Bayern alle 28 KKW und Nuklearanlagen, die wir in unserer Studie [1] berücksichtigt haben, in die Abstandsberechnung einbeziehen. Dabei wird insbesondere der Standort Hanau/Kahl berücksichtigt, der in unserer Studie [1, Tabelle 2] für sich alleine bereits einen auffälligen Effekt zeigt. In Abbildung 3 und Abbildung 4 sind die modifizierten Abstandstrends mit jeweils angepasster Rayleigh-Funktion beziehungs-

weise reziproker Abstandsfunktion dargestellt. Es zeigt sich in beiden Fällen eine verbesserte Anpassung, und damit auch eine deutlichere Signifikanz.

Beachtenswert ist insbesondere der Vergleich der beiden weitreichenden reziproken Modelle in Abbildung 2 und 4. Hier unterscheiden sich die Null-Werte (vergleiche die beiden Parameter  $a$ ) in großer Entfernung um 0,5 Promille. Das ist mit minimierter Fehlklassifikation zu erklären, wenn außerbayerische Standorte, wie zum Beispiel Ha-

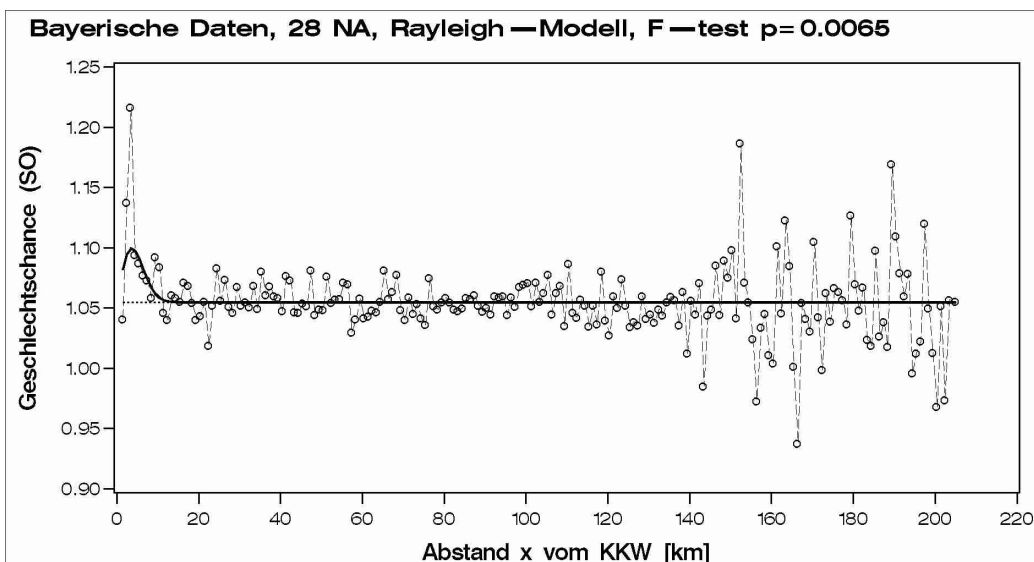


Abbildung 3: Geschlechtschance in Bayern nach Abstand von 28 deutschen und Schweizer Nuklearanlagen (NA, s. [1]) und Trendmodell basierend auf einer Rayleighfunktion.  $\ln(SO) = a + b \times x \times \exp(-c \times x^2)$ ;  $a = 0,0531$ , 95%-KI =  $[0,0514; 0,0548]$ ;  $b = 0,0186$ , 95%-KI =  $[-0,0022; 0,0394]$ ;  $c = 0,0367$ , 95%-KI =  $[0,0083; 0,0650]$ ; SORmax = 1,0425; Maximum = 3,7 km, 95%-KI =  $[2,8 \text{ km}; 7,8 \text{ km}]$ .

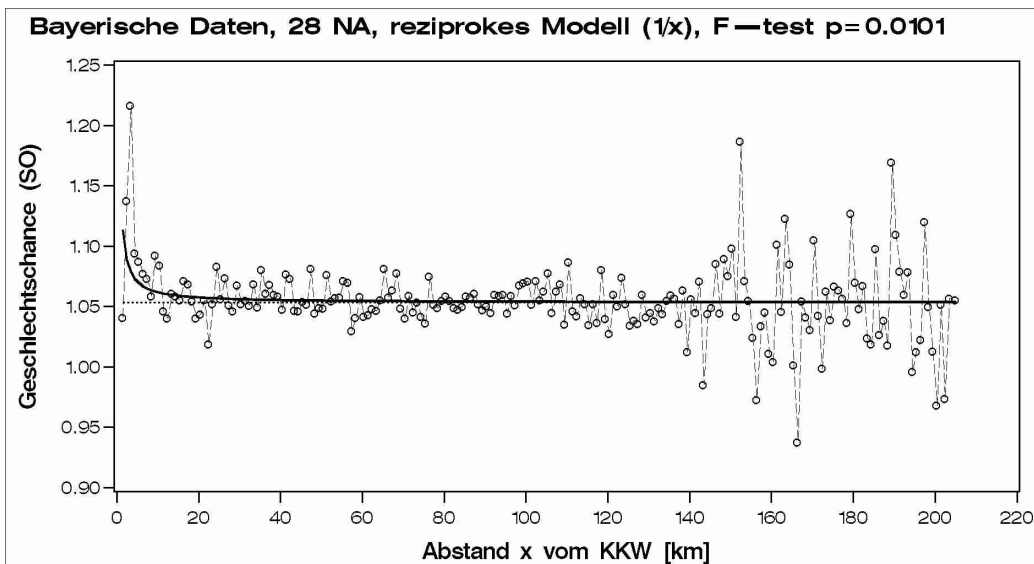


Abbildung 4: Geschlechtschance in Bayern nach Abstand von 28 deutschen und Schweizer Nuklearanlagen (NA, s. [1]) und Trendmodell basierend auf einer einfachen reziproken Funktion (1/x).  $\ln(SO) = a + b/x$ ;  $a = 0,0518$ , 95%-KI =  $[0,0496; 0,0539]$ ;  $b = 0,0823$ , 95%-KI =  $[0,0202; 0,1444]$ .

nau/Kahl oder die KKW in Baden-Württemberg mit berücksichtigt werden.

**Zusammenfassung und Ausblick**

Die Analyse der Bayerischen Daten zeigt erwartungsgemäß deutlich unschärfer geschätzte Effekte im Vergleich zu unserer Gesamt-Studie [1], und zwar wegen eingeschränkter statistischer Nachweiskraft aufgrund geringerer Geburtenzahl. Allerdings kann man feststellen, dass in Bayern

eine signifikant erhöhte Geschlechtschance ( $p=0,01$ ) im Bereich zwischen 2 und 4 Kilometern Abstand zu den 3 Bayerischen Kernkraftwerken existiert.

Es gibt keinen Grund anzunehmen, dass an allen Standorten die gleichen Abstandsabhängigkeiten vorliegen. Somit wird sicherlich der Datensatz [1] eine Überlagerung verschiedener einzelner Abstands-funktionen mit unterschiedlichen Modalwerten und Peak-Breiten reflektieren. Die

bayerische Teilanalyse zeigt klar, dass es schwer ist, in Teilregionen statistische Nachweise zu führen, das gilt übrigens auch für die Schweiz, die wir ebenfalls schon isoliert und genauer untersucht haben. Deshalb ist es zunächst sinnvoll, möglichst viele Geburten um möglichst viele Nuklearanlagen herum kombiniert zu untersuchen.

Bei der Hinzunahme weiterer ausländischer Nuklearanlagen und Geburtenzahlen aus deren

Nah- und Fernumgebungen könnten Detailfragestellungen effektiv bearbeitet werden. Allerdings liegen solche Anlagen nur in wenigen Ländern in vergleichsweise dicht besiedelten Umgebungen wie in Teilen Mitteleuropas vor, so daß für viele der über 1000 Nuklearanlagen weltweit von vornherein keine ausreichende statistische Nachweiskraft zu erwarten ist (wie etwa in Schweden), sofern in der Vergangenheit keine außerordentlich starken Belastungen, etwa durch Störfälle wie zum Beispiel Tschernobyl, aufgetreten waren.

1. 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: Proceedings of EnviroInfo 2010, pp. 616-626; Greve K and Cremers AB (Eds.), Shaker Verlag, Aachen 2010; <http://ibb.helmholtz-muenchen.de/homepage/hagen.scherb/KusmierzVoigtScherbEnviroInfoBonn2010.pdf>.
2. Spix C, Schmiedel S, Kaatsch P, Schulze-Rath R, Blettner M: Case-control study on childhood cancer in the vicinity of nuclear power plants in Germany 1980-2003. Eur J Cancer, 2008. 44 (2):275-284; <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18082395>.
3. Scherb H, Voigt K: Trends in the human sex odds at birth in Europe and the Chernobyl Nuclear Power Plant accident. Reprod Toxicol, 2007. 23(4): p. 593-599; <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17482426>.
4. 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, 2010. 558-559; [www.strahlentelex.de/Stx\\_10\\_558\\_S01-04.pdf](http://www.strahlentelex.de/Stx_10_558_S01-04.pdf). ●