

Gesundheitsschäden bei Kernkraftwerken

Epidemiologische Auffälligkeiten um Kernkraftwerke: Synoptische Analyse

Von Alfred Körblein¹

Seit Veröffentlichung der Ergebnisse der KiKK-Studie vor 3 Jahren wurden zwei weitere epidemiologische Studien veröffentlicht, eine zu Fehlbildungen bei Neugeborenen um Kernkraftwerke und eine zum Geschlechterverhältnis bei der Geburt um bayerische Kernkraftwerke. Beide Studien bestätigen die bei der KiKK Studie gefundene Abstandsabhängigkeit, wenn auch wegen kleiner Fallzahlen nicht alle Einzelbefunde statistisch signifikant sind. Eine gemeinsame Analyse der drei Datensätze mit einem nichtlinearen Abstandsmodell (Rayleighverteilung) ergibt eine hochsignifikante Abstandsabhängigkeit des Risikos mit einem Maximum des Effekts zwischen 3 und 5 Kilometern.

Nach den Aufsehen erregenden Ergebnissen der KiKK Studie [1] zu Krebs bei Kleinkindern wurden zwei weitere epidemiologische Studien zu gesundheitlichen Auswirkungen um deutsche Kernkraftwerke (KKW) veröffentlicht, eine zu Fehlbildungen bei Neugeborenen um die Kernkraftwerke Philippsburg und Biblis, die sogenannte KuK-Studie [2], und eine von Kusmierz et al. zum Geschlechterverhältnis bei der Geburt

um bayerische Kernkraftwerke [3]. Beide Studien bestätigen die bei der KiKK Studie gefundene Abstandsabhängigkeit, wenn auch die Einzelbefunde wegen kleiner Fallzahlen nicht in jedem Fall statistisch signifikant sind. Dies betrifft insbesondere die Fehlbildungsstudie; siehe dazu meine Kritik im Strahlentelex [4].

Im Folgenden werden die Ergebnisse einer gemeinsamen Analyse der drei Datensätze mit den beiden in [3] gewählten Regressionsmodellen vorgestellt, nämlich einer reziproken Abstandsabhängigkeit ($1/r$) und einer Rayleighverteilung. Während das erste Modell unterstellt, dass das Risiko monoton mit der Entfernung abnimmt, geht das

zweite Modell von einem Maximum des Effekts in wenigen Kilometern Entfernung vom KKW aus. Dieses Modell passt besser zu den Ergebnissen von Berechnungen der Strahlenexposition im Nahbereich von Kernkraftwerken. Abbildung 1 wurde einer Publikation von Otfried Schumacher aus dem Strahlenbiologischen Gutachten zu den Leukämiefällen um das Kernkraftwerk Krümmel entnommen [5]. Darin ist der Kurzzeitausbreitungsfaktor, ein

Maß für die Strahlenbelastung, in Abhängigkeit vom Abstand vom KKW aufgetragen. Die Strahlenbelastung durch Fallout ist in unmittelbarer KKW-Nähe niedrig, steigt zunächst mit der Entfernung an, erreicht ein Maximum und nimmt dann monoton ab.

Tatsächlich zeigen sich sowohl bei den Fehlbildungen als auch beim Geschlechterverhältnis keine erhöhten Raten im unmittelbaren Nahbereich

Tabelle 1:
Ergebnisse für das reziproke Abstandsmodell

parameter	data set	estimate	SE	t value	P value
beta0	KiKK	-1,1641	0,0385	-30,204	0,0000
beta1	KiKK	1,0961	0,4109	2,668	0,0081
beta0	sex ratio	0,0493	0,0045	10,909	0,0000
beta1	sex ratio	0,0813	0,0452	1,800	0,0730
beta0	KuK	-3,2440	0,1914	-16,952	0,0000
beta1	KuK	0,5308	1,0102	0,525	0,5998

Tabelle 2:
Ergebnisse für das Modell mit Rayleighverteilung

parameter	data set	estimate	SE	t value	P value
beta0	KiKK	-1,1165	0,0289	-38,613	0,0000
beta1	KiKK	0,2985	0,1376	2,169	0,0310
beta2	KiKK	0,0622	0,0261	2,386	0,0178
beta0	sex ratio	0,0525	0,0034	15,619	0,0000
beta1	sex ratio	0,0233	0,0149	1,569	0,1178
beta2	sex ratio	0,0504	0,0230	2,19	0,0295
beta0	KuK	-4,8625	0,9885	-4,919	0,0000
beta1	KuK	0,5969	0,2754	2,168	0,0311
beta2	KuK	0,0157	0,0032	4,889	0,0000

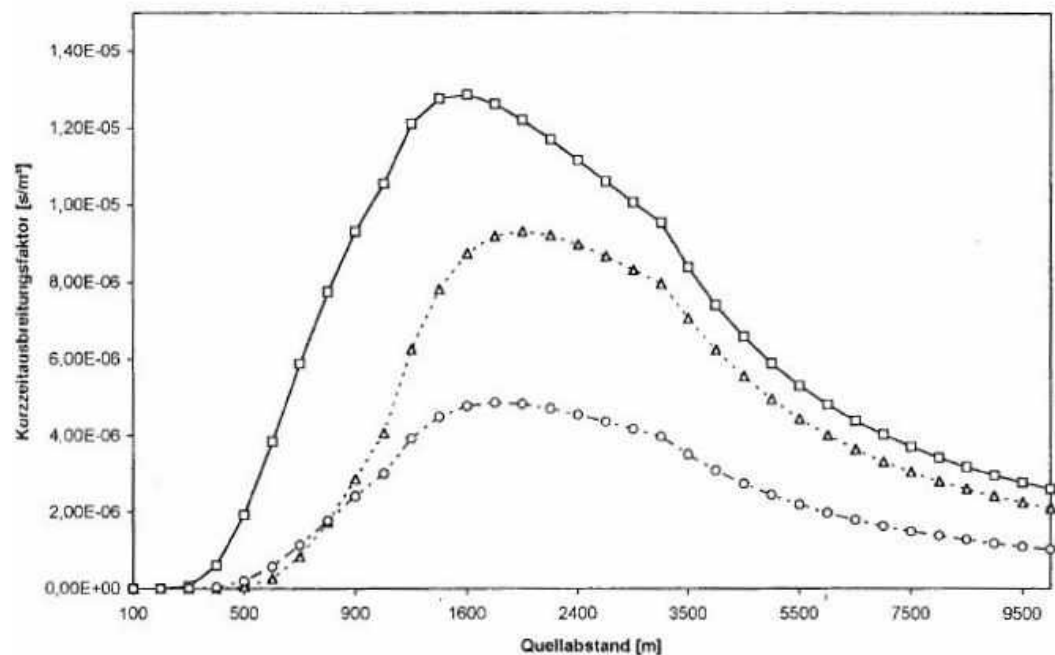


Abbildung 1: Abstandsabhängigkeit des Kurzzeitausbreitungsfaktors, einem Maß für die Strahlenbelastung über radioaktive Abgaben aus dem Abluftkamin eines Kernkraftwerks für Diffusionskategorie E und Emissionshöhe 100 Meter, berechnet mit unterschiedlichen Rechenverfahren (aus [5]).

¹ Dr. Alfred Körblein,
www.alfred-koerblein.de

reich; in beiden Datensätzen treten die Maxima der Effekte erst in einigen Kilometern Entfernung vom KKW auf. Leider liefert die KiKK-Studie nicht die nötigen Informationen, um den Verlauf des Krebsrisikos bei Kleinkindern in direkter Nähe zum KKW modellieren zu können. Es wurde nur die Gesamtzahl von Fällen und Kontrollen für den 5-Kilometer-Nahbereich veröffentlicht, nicht aber deren Verteilung innerhalb des 5-Kilometer-Bereichs. Meiner Bitte um Überlassung der entsprechenden Zahlen innerhalb eines 3-Kilometer-Radius wurde von den Autoren der KiKK-Studie nicht entsprochen.

Allerdings enthält der KiKK-Studienbericht eine Abbildung, in der die Position von Fällen (krebserkrankte Kinder) und Kontrollen (Kinder ohne Krebs) innerhalb der einzelnen Entfernungszonen erkennbar sind (KiKK-Studie, Teil 1, Abbildung 3.3). Abbildung 2 zeigt einen Ausschnitt aus Abbildung 3.3 der KiKK-Studie für den 5-Kilometer-Bereich. Die Fälle sind darin ursprünglich als rote, die Kontrollen als grüne Rechtecke dargestellt. Die Fälle überlagern die Kontrollen, und diese überlagern wiederum andere Kontrollen. Mit zunehmender Dichte der Fälle und Kontrollen wird es schwieriger, zu erkennen, ob sich unter einem Fall bzw. einer Kontrolle ein weiterer Fall oder eine Kontrolle verbirgt.

Nun kam mir Ralf Kusmierz aus Bremen zu Hilfe. Mit einem Grafikprogramm gelang es ihm, die Koordinaten der Mittelpunkte der Rechtecke für Fälle und Kontrollen zu bestimmen. Mit diesen Informationen war ich in der Lage, die Zahl der Fälle (F) und Kontrollen (K) zumindest innerhalb eines Kreises von 3 Kilometern Radius recht genau zu ermitteln (siehe Abbildung 3): Die Abzählung ergibt 21 Fälle und 49 Kontrollen. Die

entsprechenden Zahlen im 3- bis 5-Kilometer-Bereich ($F=56$, $K=99$) errechnen sich aus der Differenz zu den bekannten Zahlen für Fälle und Kontrollen im gesamten 5-Kilometer-Nahbereich. Die Rechnung ergibt, dass das relative Risiko (RR) im 3-Kilometer-Bereich kleiner ist als in der 3- bis 5-Kilometer-Zone, jeweils verglichen mit dem Entfernungsbereich größer 5 Kilometer ($RR=1,30$ für 0-3 km, $RR=1,71$ für 3-5 km, siehe Abbildung 4).

Daten und Methoden

Die Anzahl der Fälle und der Kontrollen in den 7 Entfernungszonen entnahm ich der Tabelle 3.14 des KiKK-Studienberichts Teil 1 [1]. Die Zahlen für Neugeborene mit Fehlbildungen und Geburten in den 1 Kilometer breiten Entfernungsrings um die KKW Philippsburg und Biblis stammen aus [2]. Die Lebendgeburten nach Geschlecht in den bayerischen Gemeinden, 1972 bis 2008, zusammen mit den Abständen der Gemeindepunkte vom nächsten KKW, wurden mir von Ralf Kusmierz zur Verfügung gestellt. Bei der Auswertung der Daten muss berücksichtigt werden, dass die Kernkraftwerke Isar (KKI) und Grafenrheinfeld (KKG) erst 1977 bzw. 1981 ans Netz gingen. Deshalb wurden die Zahlen der Gemeinden um KKI ab 1978 und um KKG ab 1982 berücksichtigt. Das Kernkraftwerk Gundremmingen A ging bereits 1966 in Betrieb.

Die Daten wurden mit bevölkerungsgewichteter nichtlinearer logistischer Regression (Funktion `nlm()` des Statistikpakets R) ausgewertet. Das Regressionsmodell hat die Form $p = \frac{\exp(y)}{1 + \exp(y)}$ mit $y = \beta_0 + \beta_1/r$ für das reziproke Abstandsmodell und $y = \beta_0 + \beta_1 * r * \exp(-\beta_2 * r^2)$ für das Modell mit der Rayleighverteilung. Dabei ist p der untersuchte Anteil

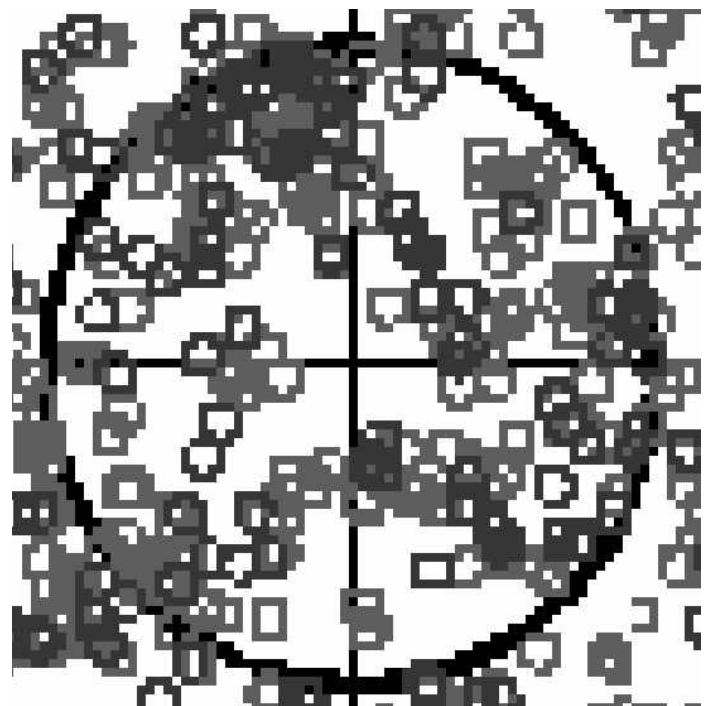


Abbildung 2: Ausschnitt aus Abb. 3.3 der KiKK Studie [1]. Der schwarze Kreis ist der 5km Nahbereich, die Rechtecke markieren die Position von Fällen (schwarz) und Kontrollen (grau).

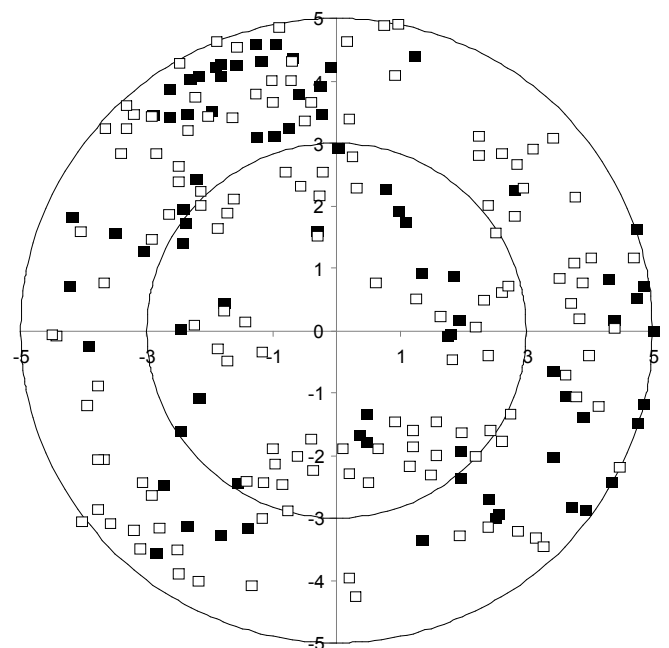


Abbildung 3: Position der Fälle (schwarz) und Kontrollen (weiß) innerhalb des 5-Kilometer-Nahbereichs der KiKK-Studie. In der 0- bis 3-Kilometer-Zone befinden sich 21 Fälle und 49 Kontrollen.

(proportion) an der gesamten Population. Beim Geschlechterverhältnis ist p also der Anteil männlicher (m) Geburten an allen ($m+w$) Geburten, bei Fehlbildungen der Anteil von Neugeborenen mit Fehlbildungen (FB) an allen Geburten (N), und bei der

KiKK Studie der Quotient aus Fällen (F) und Fällen plus Kontrollen ($F+K$).

Ergebnisse

Reziprokes Abstandsmodell

Der Trendparameter β_1 ist nur für die Daten der KiKK-

Studie signifikant. Die gemeinsame Analyse (siehe Tabelle 1) führt zu einer signifikanten Verbesserung der Anpassung gegenüber dem Modell ohne Entfernungsabhängigkeit ($P=0,0208$; F-Test).

Modell mit Rayleighverteilung

Bei den Einzelregressionen ist die Entfernungsabhängigkeit nur für das Geschlechterverhältnis signifikant ($P=0,043$); für Krebs ($P=0,106$) und Fehlbildungen ($P=0,116$) sind die Ergebnisse nicht signifikant. Bei der gemeinsamen Analyse ist die Abstandsabhängigkeit jedoch hochsignifikant ($P=0,0014$; F-Test). Es zeigt sich auch, dass die Anpassung an die Daten mit Rayleighmodell signifikant besser ist als mit dem reziproken Abstandsmodell ($P=0,008$, F-Test), was beweist, dass die Abstandsabhängigkeit nicht monoton fallend ist.

Die Abbildungen 4 bis 7 enthalten die Ergebnisse der Regressionen mit den beiden Abstandsmodellen für die drei Datensätze. Abbildung 4 zeigt das relative Krebsrisiko (RR) in der KiKK-Studie. RR ist der Quotient aus F/K im Abstand r und dem asymptotischen Wert von F/K für r gegen Unendlich ($r \rightarrow \infty$). Dieser ist aber $\exp(\beta_0)$. Damit gilt: $RR = F/K / \exp(\beta_0)$. Die Fehlerbalken bedeuten Standardabweichungen. In Abbildung 5 sind die Werte des Geschlechterverhältnisses bei der Geburt in den einzelnen Gemeinden innerhalb von 30 Kilometern um die Standorte der bayrischen KKW dargestellt, zusammen mit dem gleitenden Mittelwert über jeweils 5 Gemeinden. Dieser weist ein Maximum bei 4 Kilometern auf; dort beträgt das Geschlechterverhältnis 1,16 und ist damit 10 Prozent höher als bei Entfernungen größer als 10 Kilometer. Abbildung 6 zeigt dem gegenüber den Anteil männlicher Geburten (male proportion) und die Regressionskurven. Oberhalb $r =$

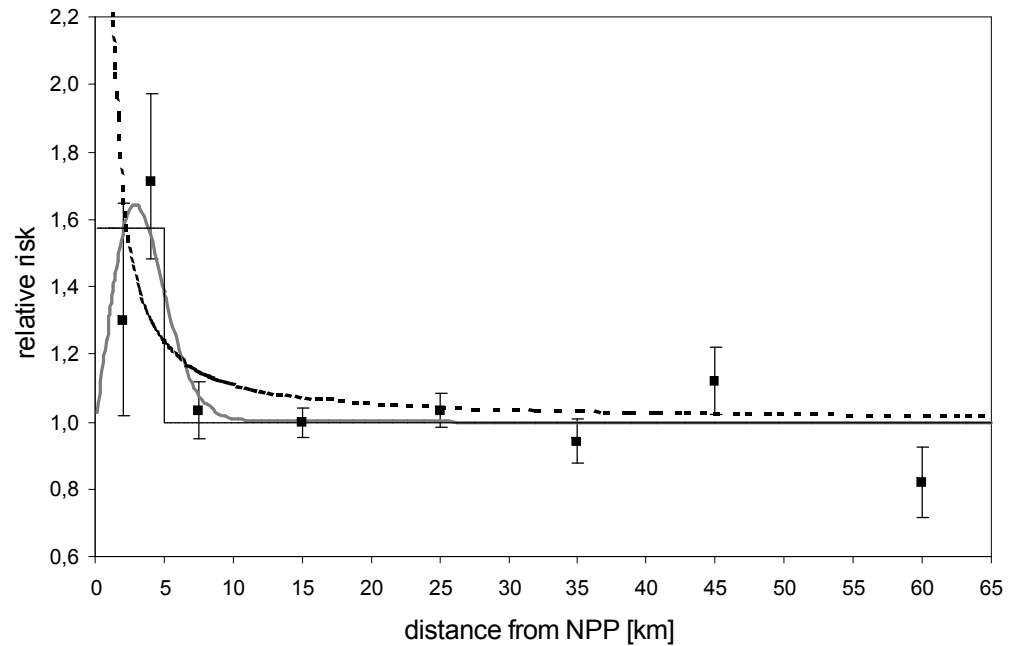


Abbildung 4: **Relatives Krebsrisiko bei Kleinkindern in der Umgebung von deutschen Kernkraftwerken und Regressionskurven** (durchgezogen grau: Rayleighverteilung, gepunktet: reziproker Abstandstrend). Die Rechtecklinie zeigt das Ergebnis einer kategoriellen Datenanalyse für den 5-Kilometer-Nahbereich.

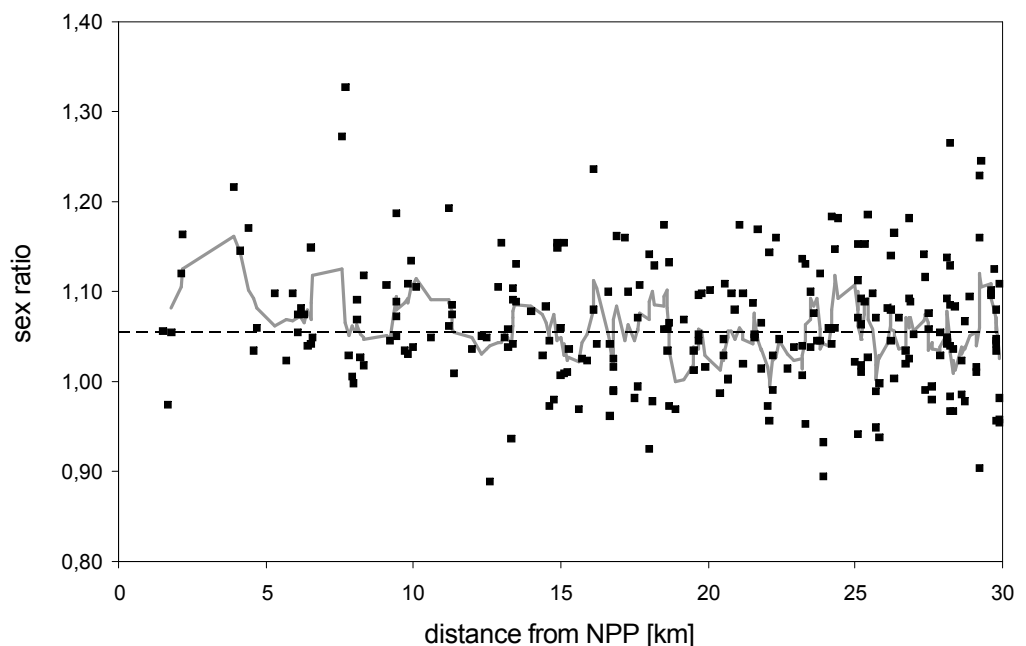


Abbildung 5: **Abhängigkeit des Geschlechterverhältnisses (sex ratio) von der Entfernung vom Kernkraftwerk in den bayerischen Gemeinden und gleitender Mittelwert über jeweils 5 Gemeinden.**

5 Kilometer sind jeweils 5 Gemeinden zu einem Wert zusammengefasst. Die Fehlerbalken kennzeichnen auch hier die Standardabweichungen. Abbildung 7 stellt die Ergebnisse der Regressionen der Daten für die Fehlbildungsprävalenz aus der KuK-Studie dar.

Diskussion

Die gemeinsame Auswertung der Daten zeigt, dass die Abstandsabhängigkeit nicht monoton fallend ist, wie in den beiden offiziellen Studien (KiKK-Studie und KuK-Studie) unterstellt wird, sondern durch ein Maximum in einigen Kilometern Entfernung

gekennzeichnet ist. Während bei Einzelanalysen wegen kleiner Fallzahlen oft keine signifikanten Ergebnisse erzielt werden, zeigt das hochsignifikante Ergebnis der gemeinsamen Auswertung, dass der Abstandseffekt, der sich in allen drei Datensätzen zeigt, mit über 99 Prozent statisti-

scher Sicherheit nicht zufallsbedingt ist. Die Krebsraten sind bei 3 bis 5 Kilometer um 70 Prozent erhöht, die Fehlbildungsraten sind zwischen 4 und 8 Kilometer etwa doppelt so hoch wie zwischen 8 und 10 Kilometer, und das Verhältnis zwischen männlichen und weiblichen Geburten (sex ratio) ist im Maximum bei 4 Kilometer mit 1,16 etwa 10 Prozent höher als bei größeren Entfernungen (siehe Abbildung 5). Damit ist die Erhöhung des Geschlechterverhältnisses in der Nähe von bayerischen Kernkraftwerken etwa doppelt so groß wie die signifikante Erhöhung der sex ratio um 5,5 Prozent im Januar 1987, 9 Monate nach Tschernobyl [6].

1. Kaatsch P, Spix C, Schmiedel S, Schulze-Rath R, Mergenthaler A, Blettner M. Epidemiologische Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken (KiKK-Studie). http://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-20100317939/4/BfS_2007_KiK-Studie.pdf
2. Queisser-Luft A, Wiesel A, Kaiser M, Stolz G, Mergenthaler A, Spix C. Epidemiologische Studie zu angeborenen Fehlbildungen in der Umgebung deutscher Leistungsreaktoren (2010). http://www.bfs.de/de/bfs/druck/Ufoplan/Fehlbildungen_in_der_Umgebung_deutscher_Leistungsreaktoren
3. Kusmierz R, Voigt K, Scherb H. Geschlechterverteilung in der Umgebung bayerischer Kernkraftwerke. Strahlentelex 574-575 (2010):3-5. http://www.strahlentelex.de/Stx_10_574_S03-05.pdf
4. Körblein A. Fehlbildungen um deutsche Kernkraftwerke. Strahlentelex 560-561 (2010):06-10. http://www.strahlentelex.de/Stx_10_560_S06-10.pdf
5. Schumacher O. Zuverlässigkeit der AVV hinsichtlich der Emissionsausbreitungsberechnungen und Dosisermittlung. Strahlenbiologisches Gutachten, Appendix C1. http://www.strahlentelex.de/C1_Zuverlaessigkeit_der_AVV_Schumacher_O.pdf
6. Körblein A. Geschlechterverhältnis bei der Geburt in Bayern nach Tschernobyl. Strahlentelex 556-557 (2010):07-10. http://www.strahlentelex.de/Stx_10_556_S07-10.pdf ●

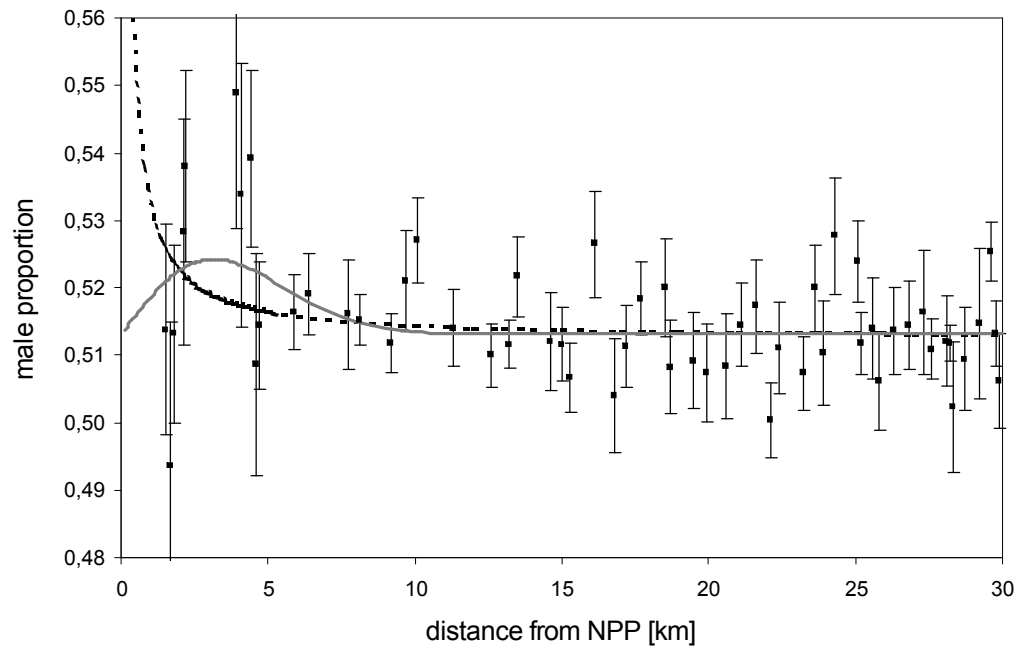


Abbildung 6: Anteil männlicher Geburten (male proportion) in den bayerischen Gemeinden in Abhängigkeit von der Entfernung. Für Entfernungen größer als 5 Kilometer wurden jeweils 5 Gemeinden in einem Punkt zusammengefasst. Durchgezogene graue Linie: Rayleighmodell, gepunktete Linie: reziprokes Abstandsmodell.

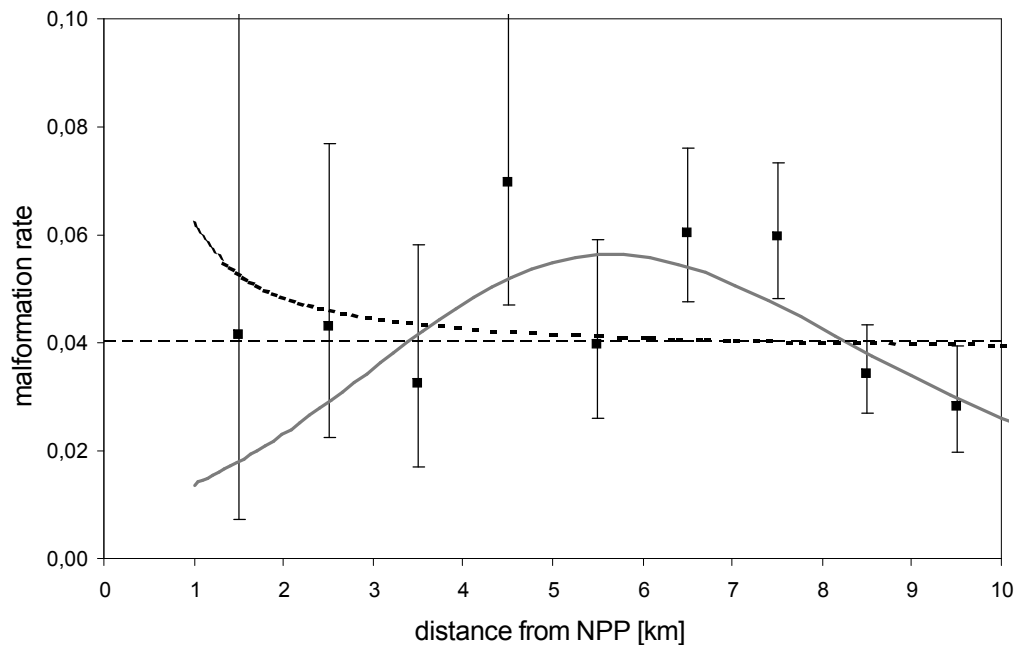


Abbildung 7: Prävalenz von Fehlbildungen im 10-Kilometer-Bereich um die Kernkraftwerke Philippsburg und Biblis, und Ergebnisse von Regressionen mit zwei verschiedenen Abstandsmodellen (gepunktet: reziproker Abstandstrend, durchgezogen grau: Rayleighverteilung).

Berichtigung

„Unterhalb der Grenzwerte“

In der Ausgabe des Strahlentelex Nr. 574-575 vom 02.12.2010 hat sich in dem

Beitrag „Unterhalb der Grenzwerte“ auf der Seite 6 im vorletzten Satz der 4. Spalte ein Fehler eingeschlichen. Die natürliche Strahlung ist nicht überwiegend materiell und materiellose Strahlung wird nicht von der Haut zurückgehalten. Dafür bitten

wir um Entschuldigung. Richtig muß es dort heißen: Das häufig zitierte natürliche Kalium-40 befindet sich in einem festen Mengenverhältnis zum stabilen Kalium und wird mit diesem in den Körperzellen in engen Konzentrationsgrenzen konstant gehalten. ●