

Zeitpunkt könnten noch bitterer werden.

Man konnte in der israelischen Zeitung „Haaretz“ am 4. Dezember 2002 lesen, daß Herr Professor H. Schopper in Jerusalem einen Vortrag zu diesem Thema gehalten hat, der

auf sehr starken Widerspruch gestoßen war. Dem Vernehmen nach wurde dort auch auf das Schicksal der OSIRAK-Anlage in Bagdad hingewiesen [1].

**Reinhard Brandt**  
Kernchemie, Philipps  
Universität, Marburg

## Tschernobyl-Folgen

# Fehlbildungen in Bayern nach Tschernobyl

**Eine Neuauswertung der Daten von angeborenen Fehlbildungen bei Neugeborenen in Bayern ergibt einen deutlich signifikanten Zusammenhang der Fehlbildungsraten vor und nach Tschernobyl mit der Cäsiumbelastung der Landkreise. Allerdings ist dieser Zusammenhang nicht linear. Bei niedrigen Belastungen zeigt sich ein steiler Anstieg, gefolgt von einem Rückgang und einem erneuten Anstieg mit zunehmender Cäsiumbelastung. Die Erhöhung der Fehlbildungsrate pro Doseinheit ist bei sehr niedriger Strahlendosis circa fünfmal größer als bei hoher Dosis.**

**Die bayerischen Fehlbildungsdaten könnten eine Schlüsselrolle für das Verständnis der Wirkung kleiner Strahlendosen spielen.**

Von Dr. Alfred Körblein, Umweltinstitut München e.V.

## Vorbemerkung

Im Auftrag des bayerischen Umweltministeriums waren nach Tschernobyl an den bayerischen Kliniken die Fehlbildungsraten bei Neugeborenen für den Zeitraum 1984-1991 nachträglich erhoben worden. Die Daten wurden vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) auf eventuelle Auffälligkeiten untersucht. Das Ergebnis der Studie war, daß es in Bayern keine erhöhte Fehlbildungsrate nach Tschernobyl gab [1].

Die Fehlbildungsdaten erhielt ich über das Institut für Statistik der Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) München. Bei diesen Daten handelte es sich um eine Untergruppe (N=7.171) aller 29.961 in diesem Zeitraum in Bayern erfaßten Fehlbildungen. Der Grund für die Selektion war nach Aussage des BfS, daß

nicht alle Fehlbildungskategorien über den gesamten Zeitraum registriert worden waren, und daß bei bestimmten Fehlbildungen eine mögliche Strahlenursache ausgeschlossen werden konnte.

Meine Auswertung dieser Daten ergab eine auffällige Abhängigkeit des Verhältnisses der Fehlbildungsraten in Südbayern gegenüber Nordbayern am Ende des Jahres 1987, gerade 7 Monate nach der Zeit der höchsten Strahlenbelastung durch inkorporiertes Radiocäsium. Die Fehlbildungsraten der Monate November und Dezember 1987 zeigen einen hoch signifikanten Zusammenhang mit der Cäsium-Bodenbelastung der Landkreise [2].

Eine kürzlich erschienene Studie [3] zu einer speziellen Fehlbildungskategorie (Lippen-, Kiefer-, Gaumenspalten)

1. R. Brandt: „Das Berliner Elektronensynchrotron ist jetzt in Jordanien“. Strahlentelex, 17 (2003), 386-387, S. 1.  
2. R. Brandt: „Weiterhin Peinlichkeiten um Bomben-Plutonium aus dem nach Jordanien verschifften Berliner Elektronensynchrotron“. Strahlentelex, 17 (2003), 404-405, S. 4.

3. R. Brandt, W. Birkholz, I. A. Shelaev: „Accelerator driven systems (ADS) for transmutation and energy production: challenges and dangers.“ KERNTECHNIK, 69 (2004), 37-50. ●

aus diesem Datensatz ergab eine Erhöhung der Fehlbildungshäufigkeit in den Jahren nach Tschernobyl (1987-1991) gegenüber den Jahren davor (1984-86). Diese Arbeit motivierte mich zur vorliegenden Studie, in der ich untersuche, ob sich eine globale Erhöhung auch bei allen Fehlbildungen zeigt. Dabei bilde ich das Verhältnis der Fehlbildungsraten nach Tschernobyl zu denen vor Tschernobyl und prüfe, ob dieses mit der Cäsium-Bodenbelastung der Landkreise korreliert. Die radioaktive Belastung der Böden in Bayern wurde durch die Bayerischen Staatsministerien für Landesentwicklung und Umweltfragen sowie für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten ermittelt [4].

## Methoden

### Lineares Regressionsmodell

Die Fehlbildungsraten nach Tschernobyl (1987-1991) werden mit den Raten in den Jahren davor (1984-1986) verglichen. Dazu wird für jeden Landkreis das Verhältnis der Fehlbildungsrate nach Tschernobyl zur Rate vor Tschernobyl, genauer die sogenannten odds ratios, berechnet. Sie sind folgendermaßen definiert:

$$OR = (FB1/(LB1-FB1)) / (FB0/(LB0-FB0)),$$

wobei LB die Zahl der Lebendgeborenen und FB die Zahl der fehlgebildeten Neugeborenen vor (0) beziehungsweise nach (1) Tschernobyl bedeutet.

Für die Regression müssen die Daten gewichtet werden, da sich die Landkreise stark in

der Größe ihrer Bevölkerung unterscheiden. Werden die Logarithmen der odds ratios verwendet, so nehmen die Standardabweichungen ( $\sigma^2$ ) eine einfache Form an:

$$\sigma^2 = 1/FB1 + 1/(LB1-FB1) + 1/FB0 + 1/(LB0-FB0).$$

Es wird zunächst eine einfache lineare Abhängigkeit der odds ratios von der Cäsium-Bodenbelastung (cs) angenommen. Das Regressionsmodell hat die Form:

$$(1) \ln(OR) = \ln(c1+c2*cs),$$

mit den Parametern c1 und c2. Geprüft wird, ob sich c2 von Null unterscheidet (Nullhypothese  $H_0: c2 = 0$ ).

### Nicht lineares Dosis-Wirkungsmodell

Weil, wie weiter unten dargestellt, die Daten für alle Fehlbildungen keinen linearen Zusammenhang mit der Cäsiumbelastung zeigen, wird im zweiten Schritt ein nicht lineares Dosis-Wirkungsmodell für die Datenanalyse verwendet. Prof. E. Burlakova, Strahlenbiologin aus Moskau, hat in vielen biologischen Systemen eine sogenannte bimodale Dosis-Wirkungsbeziehung mit einem Maximum der Strahlenwirkung bei niedrigen Dosen gefunden [5]. Sie behauptet sogar, eine nicht monotone Dosis-Wirkungsbeziehung sei im Bereich niedriger Dosen und Dosisraten (Dosis pro Zeiteinheit) charakteristisch für Strahleneffekte.

Das Maximum des Effekts bei niedrigen Dosen läßt sich nach Burlakova folgendermaßen verstehen: Die Strahlenempfindlichkeit ist bei sehr geringen Dosisraten relativ hoch.

Mit Erhöhung der Strahlenbelastung wird ab einer gewissen Triggerschwelle die Effizienz der Reparatursysteme deutlich verbessert, und bleibt dann auf diesem neuen Niveau. Die resultierende Dosis-Wirkungsbeziehung (DWB) ist folglich durch einen steilen Anstieg bei niedrigen Dosen, einem Niedrigdosis-Maximum mit anschließendem Rückgang, und einem erneuten, wesentlich flacheren Anstieg gekennzeichnet. Burlakova nennt das eine bimodale Dosis-Wirkungskurve.

Im Folgenden wird ein Modell an die Daten angepaßt, das die von Burlakova geschilderten Eigenschaften besitzt. Es ist in [6] näher beschrieben und hat die folgende Form:

$$(2) \ln(OR) = \ln(c1+c2*cs*(c3-(c3-1)*\lognormvert(cs;c4;c5)))$$

Der Parameter c2 mißt die Abhängigkeit der odds ratios von der Cäsiumbelastung (cs) bei hoher Dosisrate, c3 ist das Verhältnis der Strahlenempfindlichkeit bei niedriger- zu der bei hoher Dosisrate, c4 und c5 sind die Lage und Breite der oben erwähnten Triggerschwelle für die Reparatursysteme.

Abbildung 1: Abhängigkeit der odds ratios der Fehlbildungsraten in den bayerischen Landkreisen von der Cäsium-Bodenbelastung und Ergebnis einer linearen Regression.

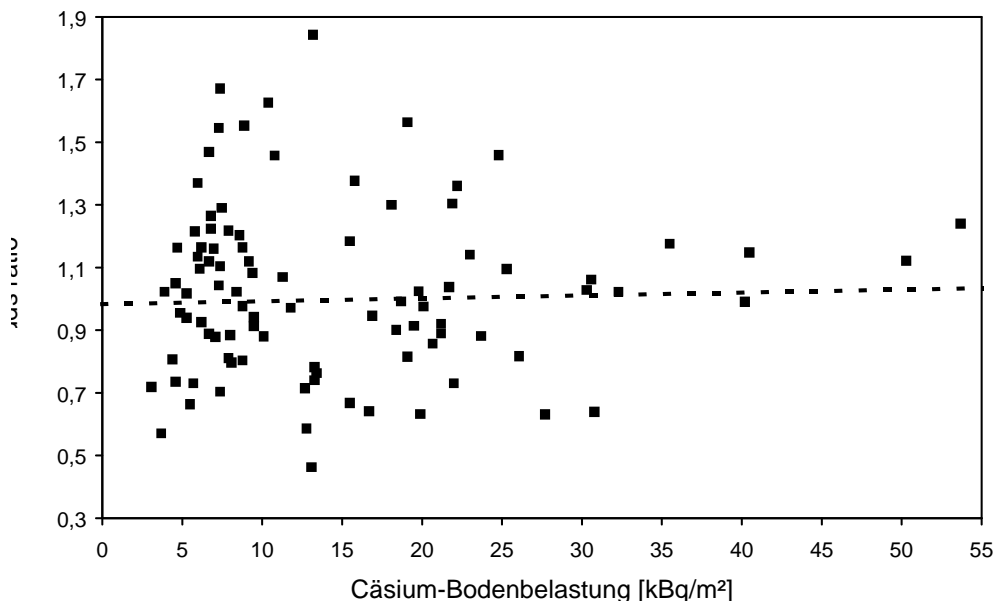


Tabelle 1: Ergebnisse der Regressionsanalyse

Parameter	Schätzwert	SD	t-Wert	p-Wert
C1	0,7347	0,0741	9,9185	<0,0001
C2	0,0097	0,0033	2,9061	0,0046
C3	4,7986	0,9831	4,8810	<0,0001
C4	2,4336	0,0432	56,329	<0,0001
C5	0,0347	0,0772	0,4495	0,6541

Tabelle 2: Ergebnisse der geschlechtsspezifischen Auswertung

Parameter	Schätzwert	SD	t-Wert	p-Wert
C1	0,7499	0,1086	6,9052	<0,0001
C2	0,0116	0,0050	2,3028	0,0224
C3	3,3473	0,8605	3,8898	0,0001
C4	2,4382	0,0448	54,390	<0,0001
C5	0,0325	0,0683	0,4766	0,6342
C6	0,7163	0,1068	6,7089	<0,0001
C7	0,0067	0,0046	1,4632	0,1451
C8	7,7969	3,6782	2,1198	0,0354

**Ergebnisse**  
Lineares Modell

Die Regression mit Modell (1) ergibt für alle Fehlbildungen  $c2 = 0,00094 \pm 0,00245$  pro Kilobecquerel pro Quadratmeter (kBq/m²); es zeigt sich also keine signifikante Abhängigkeit der odds ratios von der Cäsium-Bodenbelastung (siehe Abbildung 1).

Nicht lineares Dosis-Wirkungsmodell

Betrachtet man Abbildung 1, so läßt sich infolge der starken Streuung der Daten keine wie auch immer geartete Abhängigkeit der odds ratios von der Cäsiumbelastung der Landkreise, und damit der Dosisrate, erkennen. In Abbildung 2 sind jeweils drei Landkreise zu einem Datenpunkt zusammengefaßt, um die statistische Streuung der Daten zu verringern. Nun zeigt sich, daß fast alle Daten im Bereich zwischen 5 und 10 kBq/m² ober-

halb des Mittelwerts (gepunktete Linie) liegen, die meisten Punkte zwischen 10 und 20 kBq/m² dagegen unterhalb. Aus einer isolierten Betrachtung der Daten zwischen 5 und 20 kBq/m² würde man gar auf eine negative Abhängigkeit der Fehlbildungsraten von der Höhe der Strahlung schließen.

Das Ergebnis der Regressionsanalyse mit Modell (2) enthält Tabelle 1.

Die Anpassung an die Daten ist signifikant besser als beim linearen Modell. Die Summe der gewichteten Fehlerquadrate ist  $S=82,4$  bei 91 Freiheitsgraden ( $df=91$ ) gegenüber  $S=97,5$  mit  $df=94$ . Die Differenz entspricht einem p-Wert von  $p=0,003$  (F-Test). Das Ergebnis der Analyse ist die durchgezogene Linie in Abbildung 2, das Ergebnis der linearen Regression ist die gepunktete Linie.

Parameter c3, der Verstärkungsfaktor der Strahlenempfindlichkeit bei niedriger Dosisrate, hat den Wert  $4,8 \pm 1,0$ . Das 95% Konfidenzintervall ist unsymmetrisch und reicht von 3,3 bis 10. Die „Triggerschwelle“ liegt bei einer Cäsium-Bodenbelastung von  $\exp(c4) = 11,4 \pm 0,5$  kBq/m².

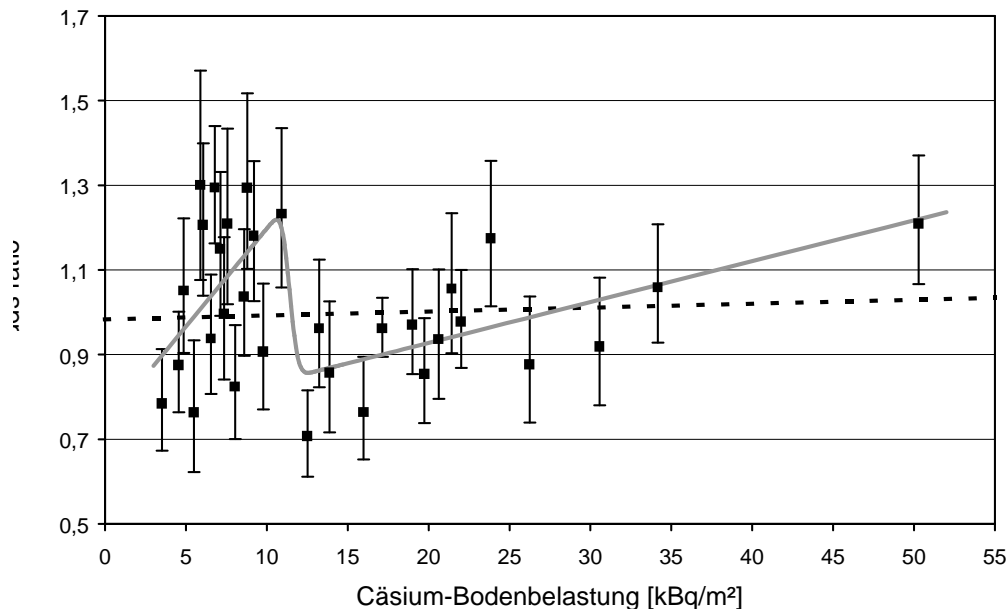
Zusätzlich wertete ich die Daten auch nach Geschlecht aus. Sowohl für männliche wie für weibliche Neugeborene verbessert sich die Anpassung mit dem bimodalen Regressionsmodell deutlich gegenüber dem linearen Modell. Da die Parameter in der Lognormalverteilung innerhalb der Fehlergrenzen übereinstimmen, wurde eine gemeinsame Datenanalyse für beide Datensätze durchgeführt, mit gemeinsamen Parametern c4, c5 für beide Datensätze. Das Modell hat dann die folgende Form:

$$(3) \ln(OR) = \ln((c1+c2*cs*(c3-(c3-1)*\lognormvert(cs;c4;c5)))^m + (c6+c7*cs*(c8-(c8-1)*\lognormvert(cs;c4;c5)))^w)$$

Abbildung 2:

**Odds ratios für alle Fehlbildungen in Abhängigkeit von der Cäsium-Bodenbelastung**

Ein Punkt beinhaltet jeweils 3 Landkreise. Die Fehlerbalken kennzeichnen die einfachen Standardabweichungen. Die gestrichelte Linie ist das Ergebnis der Regressionsanalyse mit dem linearen Modell, die durchgezogene Linie für die bimodale Dosis-Wirkungsbeziehung.



Hier sind die Parameter  $c_2$  und  $c_7$  die Risikofaktoren für männliche (m) und weibliche (w) Neugeborene bei Strahlendosen oberhalb der Triggerschwelle,  $c_3$  und  $c_8$  bedeuten die Verstärkungsfaktoren der Strahlenempfindlichkeit bei Dosen unterhalb der Triggerschwelle.

Die Anpassung an die Daten ist sehr gut: Die Summe der Fehlerquadrate ergibt sich zu  $S=181,8$  ( $df=184$ ). Das lineare Regressionsmodell liefert dagegen  $S=197,1$  ( $df=188$ ). Die Verbesserung der Anpassung ist deutlich signifikant ( $p=0,005$ , F-Test). Die Ergebnisse der Analyse enthält die Tabelle 2. Der Risikofaktor oberhalb der Triggerschwelle ist bei männlichen Neugeborenen ( $c_2=0,012 \pm 0,005$ ;  $p=0,0224$ ) knapp zweimal so groß wie bei weiblichen Neugeborenen ( $c_7=0,0067 \pm 0,0046$ ;  $p=0,145$ ). Anders bei Strahlendosen unterhalb der Triggerschwelle, wo sich infolge des größeren Verstärkungsfaktors beim weiblichen ( $c_8=7,8 \pm 3,7$ ;  $p=0,035$ ) gegenüber dem männlichen Kollektiv ( $c_3=3,3 \pm 0,9$ ;

$p=0,0001$ ) der Risikofaktor sogar mit  $c_7 \cdot c_8 = 0,052$  pro  $\text{kBq/m}^2$  etwas größer errechnet als beim männlichen Kollektiv ( $c_2 \cdot c_3 = 0,039$  pro  $\text{kBq/m}^2$ ).

**Diskussion**

Die bayerischen Fehlbildungsdaten geben auf den ersten Blick keinerlei Hinweise auf einen möglichen Effekt der Strahlenbelastung nach Tschernobyl. Der rechnerisch ermittelte Anstieg der odds ratios beträgt  $0,00094$  pro  $\text{kBq/m}^2$ . Danach wäre selbst in den drei höchstbelasteten Landkreisen Bayerns (Augsburg, Berchtesgaden, Garmisch) mit einer mittleren Cäsium-Bodenbelastung von  $50 \text{ kBq/m}^2$  die Fehlbildungsrate nur um circa fünf Prozent höher als erwartet – weit unterhalb der Nachweisgrenze.

Der alternative Ansatz einer bimodalen Dosis-Wirkungsbeziehung (DWB) enthüllt jedoch auch bei den Daten für alle Fehlbildungen eine deutliche Dosisabhängigkeit. Die Anpassung an die Daten wird gegenüber der linearen DWB signifikant verbessert

( $p=0,003$ ). Die Strahlenempfindlichkeit ist danach im Bereich sehr kleiner Strahlenbelastungen circa fünfmal höher als bei höheren Dosisraten. Eine geschlechtsspezifische Auswertung zeigt außerdem, daß der Effekt für männliche wie für weibliche Neugeborene einzeln signifikant ist. Damit stützen die bayerischen Daten Burlakovas Modell einer bimodalen Dosis-Wirkungskurve. Die bayerischen Fehlbildungsdaten könnten einen wichtigen Beitrag leisten zum Verständnis der biologischen Wirkung radioaktiver Niedrigstrahlung.

**Alfred Körblein**

Umweltinstitut München e.V.

- Schoetzau A, Irl C, van Santen F, Grosche B (1995). Angeborene Fehlbildungen in Bayern 1984-1991. Bericht im Rahmen des strahlenbiologischen Umweltmonitorings in Bayern. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen.
- Körblein A. Fehlbildungen bei Neugeborenen in Bayern. Umweltnachrichten 94/2001: 11-16. Siehe auch: [http://www.umweltinstitut.org/frames/radi/folge\\_nvont.htm](http://www.umweltinstitut.org/frames/radi/folge_nvont.htm)

3. Scherb H, Weigelt E. Spaltgeburtenrate in Bayern vor und nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl. Mund Kiefer Gesichtschir 2004 8:106-110.

4. Bayerische Staatsministerien für Landesentwicklung und Umweltfragen und für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Radioaktive Kontamination der Böden in Bayern, 1987.

5. Burlokova E. Health Risks from Low Doses of Ionising Radiation.

In: Köhnlein W, Nussbaum RH (Hrsg.): Die Wirkung niedriger Strahlendosen: 197-211 (2001), ISBN 3-9805260-2-X.

6. Körblein A. Mathematical Appendix: A Meta-Analysis of Leukemia Mortality Data.

In: Köhnlein W, Nussbaum RH (Hrsg.): Die Wirkung niedriger Strahlendosen: 212-213 (2001), ISBN 3-9805260-2-X.

Der vorstehende Artikel erschien zuerst in der April-Ausgabe 2004 der Zeitschrift Umweltnachrichten des Umweltinstituts München e.V.. Der Nachdruck hier erfolgt mit messen freundlicher Genehmigung. ●

**Atomwirtschaft****Ukraine will neuen Atomreaktor bauen**

Kiew (AFP) - Am 18. Jahrestag der Nuklearkatastrophe von Tschernobyl hat der ukrainische Energieminister Serhi Tulub den Bau eines neuen Atomreaktors angekündigt. Der Reaktor neuen Typs werde zwischen 2010 und 2012 auf dem Gelände des Atomkraftwerks Chmelnyzki fertiggestellt, teilte der Minister am 26. April 2004 mit. Der Reaktor solle eine Kapazität von „mindestens tausend Megawatt“ haben. „Wir haben die Lektion von Tschernobyl gelernt“, versicherte Tulub. Der neue Reaktor werde sicher sein. Derzeit sind in der Ukraine 13 Reaktoren in Betrieb. Zwei weitere sollen noch in diesem Jahr fertiggestellt werden. ●