

## **Krebsrate und Säuglingssterblichkeit in Bayern in Abhängigkeit von der natürlichen Hintergrundstrahlung**

**In der Diskussion um die Wirkung niedriger Strahlendosen (Niedrigstrahlung) von Atomanlagen auf die menschliche Gesundheit wird immer wieder mit der natürlichen Strahlung argumentiert: Wenn Niedrigstrahlung vermehrt Krebs hervorriefe oder die Säuglingssterblichkeit erhöhe, dann müsste sich in Gegenden erhöhter natürlicher Strahlung ebenfalls ein Effekt zeigen. Aus dieser Formulierung könnte man schließen, dass dies nicht der Fall sei. Die vorliegende Studie zeigt den Effekt auf.**

**Hängt die Krebsrate und die Säuglingssterblichkeit von der Höhe der natürlichen Hintergrundstrahlung ab? Für die Untersuchung dieser Frage bietet sich das deutsche Bundesland Bayern an, weil es innerhalb Bayerns ausgeprägte Unterschiede in der Höhe der terrestrischen Gammastrahlung gibt. In einer so genannten ökologischen Studie wurde die Krebsmortalität in den Jahren 1979-1997 und die Säuglingssterblichkeit für die Jahre 1972-2001 mit den Daten der mittleren Gamma-Ortsdosisleistung in den 96 bayerischen Landkreisen korreliert. Sowohl die Krebsrate (alle Malignome) als auch die Säuglingssterblichkeit zeigen eine signifikante Abhängigkeit von der Höhe der Hintergrundstrahlung. Die Abhängigkeit ist auch dann signifikant, wenn als weitere Einflussgrößen (Confounder) die Bevölkerungsdichte und der Arbeitslosenindex berücksichtigt werden. Bei einer Erhöhung der Hintergrundstrahlung um 1 mSv/a erhöht sich die Krebsrate um 10% ( $p=0,0013$ ), die Säuglingssterblichkeit gar um 21% ( $p=0,0026$ ).**

Einführung

Der terrestrische Anteil der natürlichen Strahlung macht in Deutschland etwa die Hälfte der natürlichen Belastung durch Gammastrahlen aus. Sie beträgt im Mittel 0,45 Millisievert pro Jahr (mSv/a), der kosmische Anteil etwa 0,3 mSv/a und die interne Strahlenbelastung durch inkorporierte Radionuklide 0,25 mSv/a. Zusammen errechnen sich 1 mSv/a.

Die Höhe der terrestrischen Strahlung hängt stark von der geologischen Beschaffenheit des Untergrunds ab: In Bayern ist sie in den Mittelgebirgen entlang der bayerisch-tschechischen Grenze (Bayerischer Wald, Oberpfälzer Wald, Fichtelgebirge) deutlich erhöht, was auf Urgestein zurückzuführen ist, das einen erhöhten Uran- und Thoriumanteil enthält (siehe Abbildung 1).

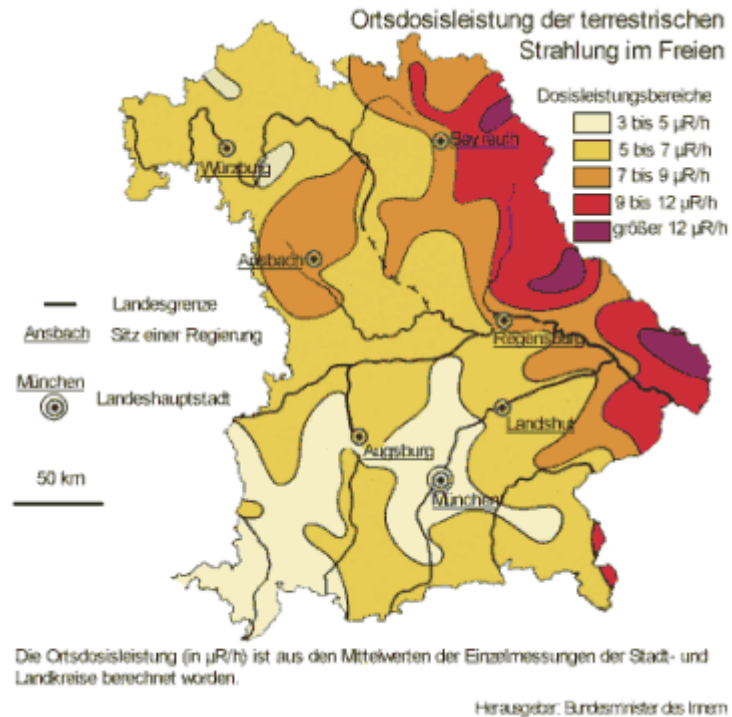
Die Frage, ob die Dosisabhängigkeit der Krebsrate bei chronischer Bestrahlung mit sehr niedriger Dosisrate (Dosis pro Zeiteinheit) aus den Erfahrungen mit den japanischen Atombombenüberlebenden extrapoliert werden kann, ist bisher ungeklärt. Manche Wissenschaftler, darunter auch die Internationale Strahlenschutzkommission, vertreten die Meinung, dass die Wirkung um den Faktor 2 niedriger ist; andere behaupten, es gäbe sogar eine erhöhte Strahlenempfindlichkeit bei kleinen Dosen und Dosisraten. Die bisherigen Untersuchungen zeigten im allgemeinen keine erhöhte Krebsrate in Gegenden der Welt mit erhöhter

Hintergrundstrahlung, z.B. in China, Indien oder Brasilien. Deshalb wird spekuliert, ob womöglich bei deutlich erhöhter chronischer Strahlenbelastung die zellulären Reparatursysteme effizienter arbeiten. Innerhalb Bayerns sind die Unterschiede in der terrestrischen Strahlung jedoch sehr viel kleiner als in den Gegenden, die bisher untersucht wurden. Adaptive Prozesse des Reparatursystems sind also eher unwahrscheinlich. Die Untersuchung der Strahlungsabhängigkeit der Krebsrate bei sehr niedriger Dosisrate in der Größenordnung der normalen Hintergrundstrahlung ist auch deshalb von besonderer Bedeutung, weil dann das Zusatzrisiko durch Belastungen aus dem Normalbetrieb von kerntechnischen Anlagen zuverlässiger abgeschätzt werden kann.

In der Diskussion um die Plausibilität der Ergebnisse meiner 1997 veröffentlichten Arbeit zur Perinatalsterblichkeit in Deutschland nach Tschernobyl (1) wurde argumentiert, dass in Gegenden geologisch bedingter erhöhter Strahlenbelastung bisher keine erhöhte Säuglingssterblichkeit beobachtet worden sei. Allerdings fand ich bei einer Literaturrecherche für die letzten 20 Jahre keine Veröffentlichung, die diese Behauptung belegt. Da die Zusatzbelastung im Jahr nach Tschernobyl in der gleichen Größenordnung wie die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlung lag, wäre ein Effekt der natürlichen Strahlung auf die Säuglingssterblichkeit tatsächlich zu erwarten. Die vorliegende Untersuchung ist also auch ein wichtiger Beitrag zum Verständnis der Frage nach der biologischen Plausibilität der Ergebnisse meiner Arbeit zu den Tschernobylfolgen.

#### Daten und Methoden

Daten zur Krebsmortalität in den Jahren 1979-97 für alle 96 bayerischen Landkreise wurden im Jahr 2001 vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene (BfS-ISH) veröffentlicht (2). Die Daten der Säuglingssterblichkeit von 1972-1990 wurden einem BfS-Bericht von 1993 entnommen (3); die Daten der Jahre 1991 bis 2001 stellte das Bayerische Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung zur Verfügung. Von dort erhielt ich auch die Daten der Arbeitslosigkeit und der Bevölkerungsdichte im Jahre 1989 auf Landkreisebene. Daten der natürlichen Strahlenbelastung im Freien und in Häusern sind in einem ISH-Bericht von 1981 enthalten (4). Die mittlere jährliche Dosis wurde unter der Annahme berechnet, dass die Menschen 80% der Zeit in



**Abb. 1: Ortsdosisleistung der terrestrischen Strahlung im Freien.**  
 Herausgeber: Bundesminister des Inneren (graphisch nachbearbeitet)

Häusern und 20% im Freien verbringen.

Um die Abhängigkeit der Krebsrate bzw. der Säuglingssterblichkeit (Rate) von der Ortsdosisleistung (ODL) zu prüfen, wird ein lineares Regressionsmodell der Form

$$(1) \text{ Rate} = c_1 + c_2 \cdot \text{ODL}$$

verwendet. Die Daten werden dabei mit der Bevölkerungszahl in den Landkreisen gewichtet.

Geprüft wird die Frage, ob der Steigungsparameter  $c_2$  ungleich Null ist; die Nullhypothese lautet also  $H_0: c_2=0$ . Die Nullhypothese wird abgelehnt, wenn der p-Wert, das Maß für die Irrtumswahrscheinlichkeit, kleiner ist als 0,05.

Anschließend wird geprüft, ob die möglichen Einflussgrößen Arbeitslosigkeit und Bevölkerungsdichte, die auch schon in einer Studie des Bundesamts für Strahlenschutz von 1993 berücksichtigt worden waren, einen Einfluss auf das Ergebnis haben. Im Gegensatz zur Ortsdosisleistung, wo zunächst ein linearer Zusammenhang mit der Krebsrate (Säuglingssterblichkeit) unterstellt wird, gehen die beiden Confounder Arbeitslosigkeit und Bevölkerungsdichte kategorisiert ins Regressionsmodell ein. Die 96 Landkreise werden dazu nach Arbeitslosigkeit (bzw. Bevölkerungsdichte) sortiert und in vier Kategorien von jeweils 24 Landkreisen eingeteilt.

Das vollständige Regressionsmodell hat die folgende Form:

$$(2) \text{ Rate} = c_1 + c_2 \cdot \text{pop1} + c_3 \cdot \text{pop2} + c_4 \cdot \text{pop3} + c_5 \cdot \text{alo1} + c_6 \cdot \text{alo2} + c_7 \cdot \text{alo3} + c_8 \cdot \text{ODL}$$

Dabei sind  $c_1$  bis  $c_8$  Parameter,  $\text{pop1}$ - $\text{pop3}$  ( $\text{alo1}$ - $\text{alo3}$ ) sind Indikatorvariable, welche die drei oberen Kategorien der Bevölkerungsdichte (Arbeitslosigkeit) kennzeichnen. Die Parameter  $c_2$  bis  $c_4$  ( $c_5$  bis  $c_7$ ) schätzen die Abweichung der Rate (Krebsrate bzw. Säuglingssterblichkeit) in den oberen drei Kategorien der Bevölkerungsdichte (Arbeitslosigkeit) gegenüber der Rate in der niedrigsten Kategorie, die als Bezugsgröße dient ( $\text{pop0}$  bzw.  $\text{alo0}$ ).

## Ergebnisse

### Krebsmortalität

Die Auswertung der Daten der Krebsmortalität in den bayerischen Landkreisen mit dem Regressionsmodell (1) ergab einen hochsignifikanten Zusammenhang mit der Hintergrundstrahlung ( $p < 0,0001$ ). Die Krebsmortalität erhöht sich um 37,9 pro 100.000 pro Jahr, bzw. um 15,8%, bei einer Erhöhung der Hintergrundstrahlung um 1 mSv/a.

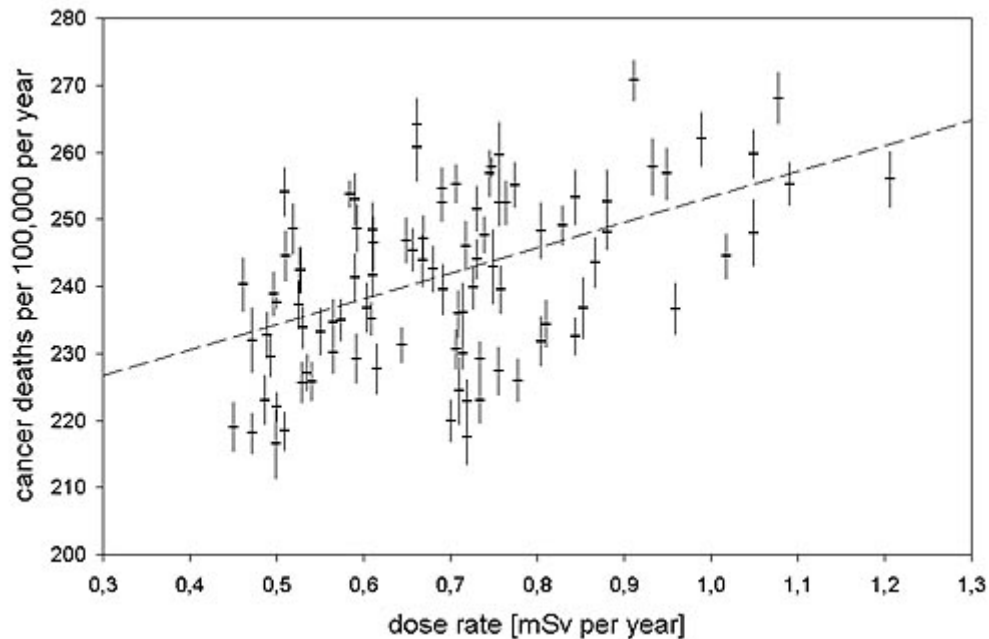
Allerdings führt auch die Berücksichtigung sowohl der Arbeitslosigkeit als auch der Bevölkerungsdichte zu einer signifikanten Verbesserung der Anpassung. Die Regression mit dem vollständigen Modell 2 ergibt eine deutliche Verbesserung der Anpassung gegenüber Modell 1. Die Ergebnisse für die Parameter enthält Tabelle 1. Darin bedeutet die Abkürzung SD eine Standardabweichung (standard deviation).

Parameter  $c_8$  ist der hier interessierende Schätzwert für die Erhöhung der Krebsmortalität bei einer Erhöhung der Hintergrundstrahlung um 1 mSv/a. Er beträgt  $23,7 \pm 7,2$  Krebstote pro 100.000 pro Jahr. Das entspricht einer Erhöhung der Krebsmortalität um 9,9% pro mSv/a. Der Quotient aus der Erhöhung der jährlichen Krebsrate (Anzahl pro 100.000 pro Jahr) und der Erhöhung der Hintergrundstrahlung (mSv pro Jahr) ergibt ein Zusatzrisiko an Krebs zu sterben von  $23,7 \cdot 10^{-5}$  pro 1 mSv bzw. 0,24 pro Sv. Dies ist fast 5-mal so viel wie der Wert von 0,05 pro Sv, welche die

Parameter	Schätzwert	SD	t-Wert	p-Wert
<u>c1</u>	<u>220,49</u>	<u>5,024</u>	<u>43,89</u>	<u>&lt;0,0001</u>
<u>c2</u>	<u>-1,629</u>	<u>2,919</u>	<u>-0,558</u>	<u>&lt;0,5780</u>
<u>c3</u>	<u>-4,559</u>	<u>3,130</u>	<u>-1,457</u>	<u>0,1485</u>
<u>c4</u>	<u>1,870</u>	<u>2,851</u>	<u>0,656</u>	<u>0,5136</u>
<u>c5</u>	<u>2,534</u>	<u>2,787</u>	<u>0,909</u>	<u>0,3655</u>
<u>c6</u>	<u>9,531</u>	<u>3,341</u>	<u>2,853</u>	<u>0,0053</u>
<u>c7</u>	<u>11,834</u>	<u>3,956</u>	<u>2,992</u>	<u>0,0035</u>
<u>c8</u>	<u>23,737</u>	<u>7,165</u>	<u>3,313</u>	<u>0,0013</u>

Tab.1: Ergebnisse der Regressionsanalyse der Krebsmortalität in Bayern

Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) 1990 empfohlen hat, und der von den offiziellen deutschen Stellen bis heute verwendet wird. Die unkorrigierten Daten der Krebsmortalität in den bayerischen Landkreisen und das Ergebnis der Regression mit Modell 1 zeigt die Abbildung 2.



*Abbildung 2: Krebsmortalität in den bayerischen Landkreisen in Abhängigkeit von der natürlichen Hintergrundstrahlung (Gamma-Ortsdosisleistung). Die gestrichelte Linie ist das Ergebnis einer linearen Regression der unkorrigierten Daten.*

### Säuglingssterblichkeit

Eine lineare Regression ergibt eine signifikante Erhöhung der Säuglingssterblichkeit um 2,05 pro 1000 bei einer Zunahme der Dosisrate (ODL) um 1 mSv/a ( $p=0,0038$ ). Bei Berücksichtigung der Bevölkerungsdichte (als kategorisierte Variable) im Regressionsmodell errechnet sich eine Zunahme der Säuglingssterblichkeit um 2,02 pro 1000 bzw. 21% pro 1 mSv/a ( $p=0,0026$ ). Durch Hinzunahme des Index der Arbeitslosigkeit ins Regressionsmodell verbessert sich die Anpassung nicht mehr wesentlich ( $p=0,316$ ).

Parameter	Schätzwert	SD	t-Wert	p-Wert
c1	8,273	0,535	15,474	<0,0001
c2	-0,309	0,309	-1,001	0,3193
c3	-0,825	0,302	-2,729	0,0076
c4	0,505	0,308	1,641	0,1043
c5	2,019	0,652	3,098	0,0026

*Tab.2: Ergebnisse der Regressionsanalyse der Säuglingssterblichkeit in Bayern*

Nach einer Faustregel kann auf die Einbeziehung einer Einflussgröße ins Regressionsmodell verzichtet werden, wenn die Verbesserung der Anpassung einem p-Wert größer als 0,2 entspricht (5). Deshalb wird hier der Einfluss der Arbeitslosigkeit nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse der Regressionsanalyse enthält die Tabelle 2.

In meiner Untersuchung der Auswirkungen der Tschernobylkatastrophe auf die Sterblichkeit von Neugeborenen in Deutschland hatte ich eine nichtlineare Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen Perinatalsterblichkeit und der Cäsiumbelastung der Schwangeren gefunden (1). Die Perinatalsterblichkeit war proportional zur Cäsiumkonzentration hoch 3,5. Es lag deshalb nahe zu prüfen, ob auch für den Zusammenhang der Säuglingssterblichkeit mit der Hintergrundstrahlung eine nichtlineare Dosis-Wirkungsbeziehung existiert. Dies ist tatsächlich der Fall: Die beste Schätzung für den Exponenten ergab  $2,9 \pm 1,7$ , in guter Übereinstimmung mit dem oben erwähnten Wert von 3,5. Die Verbesserung der Anpassung gegenüber der linearen Dosis-Wirkungsbeziehung ist aber nicht signifikant ( $p=0,195$ ); ein linearer Zusammenhang kann also nicht ausgeschlossen werden.

## Diskussion

Die Ergebnisse von ökologischen Studien sind prinzipiell weniger aussagekräftig als von so genannten analytischen epidemiologischen Studien wie Kohortenstudien oder Fall-Kontroll-Studien, bei denen die individuelle Exposition berücksichtigt wird. Andererseits sind diese sehr aufwendig und kostspielig. Bei kleinen Zusatzrisiken ist eine sehr große Fallzahl nötig, damit die Studien eine ausreichende Teststärke aufweisen.

Bei der allgemeinen Krebsrate ist die Berücksichtigung anderer Einflussgrößen (sog. Confounder) schwierig, da die Krebsentstehung ein multifaktorielles Geschehen ist. Lediglich beim Lungenkrebs lässt sich das größte Risiko, das Rauchen, noch einigermaßen berücksichtigen, obwohl auf Grund der langen Latenzzeiten von bis zu 20 Jahren die Rauchgewohnheiten bis weit in die Vergangenheit erkundet werden müssen.

Bei einer ökologischen Studie, die sich auf ein ausreichend großes Kollektiv stützt, kann man annehmen, dass sich individuelle Unterschiede ausmitteln. Allerdings muss gewährleistet sein, dass systematische Unterschiede in den Kollektiven weitgehend ausgeschlossen werden. So ist es sicher nicht sinnvoll, die Krebsraten in New York mit denen im Bundesstaat Colorado zu vergleichen, um den Einfluss der kosmischen Strahlung zu prüfen, denn viele andere Einflüsse auf die Krebsrate wie Umweltverschmutzung, Stress, soziale Unterschiede und ethnische Zusammensetzung werden dabei nicht berücksichtigt. In der vorliegenden Studie wurden neben der Hintergrundstrahlung der Index der Arbeitslosigkeit und die Bevölkerungsdichte als weitere Einflussgrößen (Confounder) identifiziert und berücksichtigt.

Der hier gefundene Risikofaktor von 0,24 pro Sv für die Krebsmortalität ist deutlich höher als der ICRP-Wert für den Niedrigdosisbereich von 0,05 pro Sievert (0,05/Sv). Dies ist auch der Grund, weshalb das Risiko in der vorliegenden Untersuchung nachweisbar ist. Dabei muß berücksichtigt werden, daß der ICRP-Wert von 0,05/Sv halb so groß ist wie aus der Auswertung der Daten der japanischen Atombombenüberlebenden hervorgeht, weil die ICRP von einer Halbierung des Risikos bei niedrigen Dosisraten ausgeht. Neuere Auswertungen der japanischen Atombombenüberlebenden ergeben aber für solide Tumore keinen Hinweis auf ein reduziertes Risiko bei niedrigen Dosen. Kritische Wissenschaftler haben schon lange die Richtigkeit der offiziellen Risikobewertung bezweifelt. So sagte Prof. Inge Schmitz-Feuerhake, Universität Bremen, auf einer Expertenanhörung im bayerischen Landtag, die natürliche Strahlenbelastung sei für 10% der Krebstoten verantwortlich (6). Prof. Köhnlein, Universität Münster, bezifferte bei der gleichen Anhörung das Krebsrisiko im Bereich niedriger Dosen auf 0,24 pro Sv. Beide Aussagen stimmen mit dem hier gefundenen Ergebnis überein.

Anders sieht es aus mit der Säuglingssterblichkeit. Aus Tierexperimenten ist zwar bekannt, dass erhöhte Sterblichkeit bei Neugeborenen als Folge einer Bestrahlung in der Phase der Organentwicklung auftritt. Beim Menschen sind das die ersten Monate der Schwangerschaft. Für eine solche so genannte deterministische Schadenswirkung wird jedoch von der Mehrzahl der Strahlenbiologen die Existenz einer Schwellendosis von mindestens 50 mSv angenommen, einer Dosis, die einen Faktor 100 über der jährlichen Zusatzdosis in Gebieten Bayerns mit erhöhter Hintergrundstrahlung liegt.

Allerdings hatte ich ja nach Tschernobyl eine erhöhte Sterblichkeit von neugeborenen Kindern in Deutschland nachgewiesen (1). Ebenso ergab eine räumlich-zeitliche Regressionsanalyse eine hochsignifikante Korrelation zwischen dem Anstieg der Totgeburten im Jahr 1987 und der Cäsium-Bodenbelastung in den bayerischen Landkreisen (7). Diese Befunde stehen ebenso im Widerspruch zur Existenz einer Schwellendosis wie der hier berichtete Zusammenhang zwischen Säuglingssterblichkeit und natürlicher Strahlung. Deshalb muss die Existenz einer Schwellendosis für Schäden während der Embryonalentwicklung in Frage gestellt werden.

## Literatur

1. Körblein A, Küchenhoff H: Perinatal mortality in Germany following the Chernobyl accident. *Radiat Environ Biophys* (1997) 36:3-7.
2. Irl C, Schoetzau A, Steinhilber B, Grosche B, Jahraus H, van Santen E: Entwicklung der Säuglingssterblichkeit in Bayern 1972-1990. Institut für Strahlenhygiene, Bundesamt für

Strahlenschutz, März 1993, ISBN 3-910088-98-8.

3. Jahraus H, Grosche B. Fortschreibung des Berichts Inzidenz und Mortalität bösartiger Neubildungen in Bayern. Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene, Juni 2001.

4. Czempel E-M, Schmier H. Die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland. ISH-Bericht 3, July 1981.

5. Hosmer DW, Lemeshow S (1989). Applied Logistic Regression. New York: Wiley.

6. Expertenanhörung des Bayerischen Landtags zum Thema Wirkung von ionisierenden Strahlen in niedrigen Dosen. München, 28. September 1989.

7. Scherb H, Weigelt E, Bruske-Hohlfeld I. Regression analysis of time trends in perinatal mortality in Germany, 1980-1993. Environ Health Perspect. 2000 Feb;108(2):159-65.

[Dr. Alfred Körblein](#)