

Wer in der Land- und Forstwirtschaft, im Garten- und Straßenbau oder in der Dekontamination arbeitet, wird es sicher mit Interesse zur Kenntnis nehmen, daß ihre oder seine Tätigkeit für die Dosiskalkulationen keine Rolle spielt.

IPPNW und Evangelischer

Kirche ist für diese Tagung, deren Referenten und Diskutanten hier nicht alle erwähnt werden konnten, zu danken.

Annette Hack

Die Vorträge können aus der Kongreßdokumentation im Internet abgerufen werden:
www.tschernobylkongress.de/dokumentation-arnoldshain.html

Tschernobyl-Folgen

Leukämie bei Kindern in Weißrussland

Von Alfred Körblein¹

Die Leukämiehäufigkeit (Inzidenz) bei Kindern in Belarus ist nach Tschernobyl signifikant angestiegen. Für den Zeitraum 1986 bis 1995 ermittelten Malko und Ivanov 200 zusätzliche Leukämiefälle. Dieses Ergebnis hängt stark von verschiedenen Annahmen ab, unter anderem vom Studienzeitraum, dem Zuschnitt des Zeitfensters für den Test auf Erhöhung, und von der Wahl des Regressionsmodells. Auswertungen mit unterschiedlichen Regressionsmodellen ergeben für den Zeitraum 1987 bis 1995 zwischen 82 und 168 Exzessfälle. Für alle untersuchten Modelle ist die Erhöhung der Leukämieinzidenz in Belarus nach Tschernobyl statistisch signifikant.

Hintergrund

Auf der Internationalen IPPNW-Tagung: Folgen von Atomkatastrophen für Mensch und Natur in Arnoldshain vom 4. bis 7. März 2014 trug der weißrussische Wissenschaftler Prof. Mikhail V. Malko über neue Ergebnisse zur Leukämieinzidenz bei Kindern unter 15 Jahren in Weißrussland nach Tschernobyl vor. Malko nannte in seinem Vortrag 197 im Zeitraum 1987 bis 1995 zusätzlich beobachtete Fälle, mit einem Konfidenzintervall von 110 bis 293 Fällen. Die Erhöhung ist hochsignifikant. Dies ist deshalb so bemerkenswert, weil in offiziellen Berichten, unter anderem im UNSCEAR Report von 2008, behauptet wird, es gebe nach Tschernobyl in Belarus keine auffällige Erhöhung von Leukämien bei Kindern.

In einem Vortrag in Feldkirch im Jahr 2006 hatte Malko noch eine wesentlich kleinere Zahl von zusätzlichen Leukämiefällen bei Kindern genannt: Zwischen 1986 und 1992 wurden in Belarus 83 Exzessfälle ermittelt.

Daten und Methoden

Die Anzahl der Leukämiefälle bei Kindern und die zugehörige Anzahl von Kindern in Belarus für die Jahre 1979 bis 2010 wurden mir im Jahr 2012 von Malko per Email zugeschickt. Dies machte eigene Berechnungen möglich.

Die Datenverarbeitung erfolgte mit logistischer Regression (Statistikpaket R, www.r-project.org) mit linearem und linear-quadratischem zeitlichem Trend. Zur Berechnung des P-Werts wird ein Chiquadrattest verwendet; die Anzahl der Freiheitsgrade entspricht dabei der Größe des Zeitfensters für den Test auf Erhöhung der

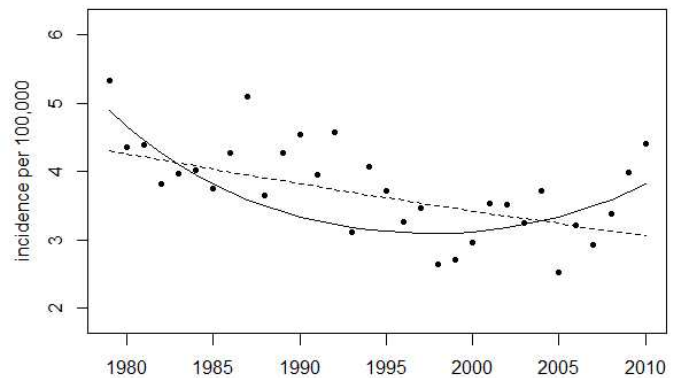


Abbildung 1: Jahresdaten der Leukämieinzidenz bei Kindern 1979 bis 2010 und Ergebnisse von Regressionen mit einem linearen (gestrichelte Linie) und einem linear-quadratischen (durchgezogene Linie) zeitlichen Trend, jeweils ohne die Jahre 1987 bis 1995.

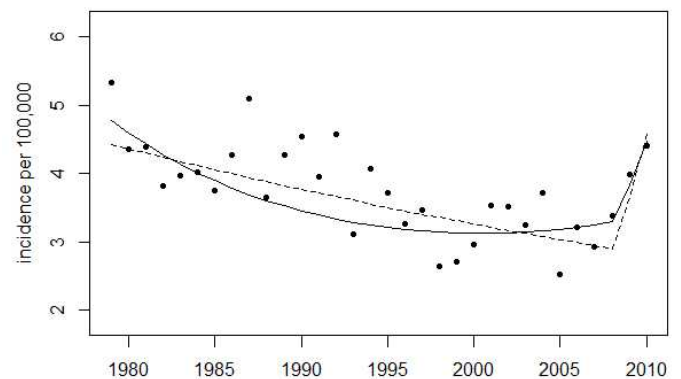


Abbildung 2: Jahresdaten der Leukämieinzidenz bei Kindern 1979 bis 2010 und Ergebnisse von Regressionen mit einem linearen (gestrichelte Linie) und einem linear-quadratischen (durchgezogene Linie) zeitlichen Trend und Knick im Jahr 2008.

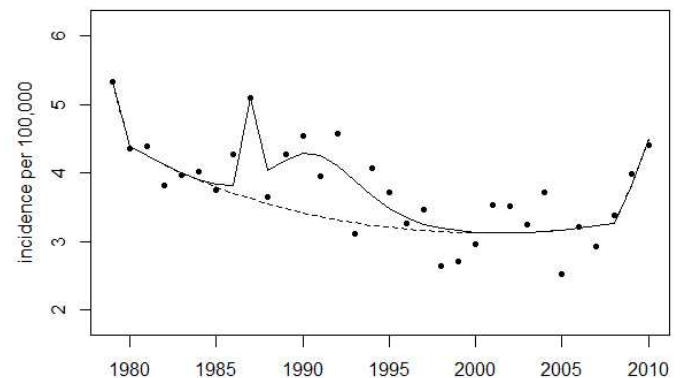


Abbildung 3: Jahresdaten der Leukämieinzidenz bei Kindern 1979 bis 2010 und Ergebnis einer Regression mit einem Peak im Jahr 1987, einem glockenförmigen Zusatzterm (Lognormalverteilung), einem Knick im Jahr 2008 und einer Dummyvariablen für 1979. Die gestrichelte Linie kennzeichnet den erwarteten ungestörten Verlauf der Daten.

Leukämierate.

Ergebnisse

Zunächst wird geprüft, ob die von Malko im Strahlentelex vom Februar 2014 [1] berichteten Ergebnisse reproduziert

werden können. Eine Auswertung der Daten von 1979 bis 2004 mit einem linearen Regressionsmodell ergibt 86 zusätzliche Leukämiefälle (Exzessfälle) im Zeitfenster 1986 bis 1992. Bei der Ana-

¹ Dr. Alfred Körblein, alfred.koerblein@gmx.de

Tabelle 1:
Regressionsergebnisse mit Zeitfenster 1987 bis 1995

Modell	Exzessfälle	P Wert	deviance	df	AIC
L	74	0,047	31,47	21	249,59
LQ	168	0,0009	16,96	20	237,09
Broken-stick					
L	82	0,0337	18,74	20	238,87
LQ	145	0,0067	14,06	19	236,18
Broken-stick, dummy für 1979					
L	96	0,0168	14,08	19	236,21
LQ	137	0,0094	12,10	18	236,23

AIC = Akaike-Informationskriterium, ein Maß für die Anpassungsgüte

lyse der Daten von 1979 bis 2010 errechnen sich mit einem linear-quadratischen Modell 198 Exzessfälle im Zeitraum 1986 bis 1995. Beide Zahlen stimmen gut überein mit den von Malko im Strahlentelex berichteten 83 bzw. 200 Exzessfällen.

Auswertung mit Zeitfenster 1987 bis 1995

Eine logistische Regression der Daten 1979 bis 2010 mit einem linear-quadratischen zeitlichen Trend (Modell 0) ergibt Deviance₀=45,05 bei 30 Freiheitsgraden (df₀=30). Ohne die Daten im Zeitfenster 1987 bis 1995 erhält man mit einem linearen zeitlichen Trend Deviance₁=31,47 (df₁=21). Aus der Differenz von Deviance₀ und Deviance₁ errechnet sich ein P-Wert von 0,047 (Chiquadratstest mit 9 Freiheitsgraden). Das Modell mit einem linear-quadratischen zeitlichen Trend führt zu einer hochsignifikanten Verbesserung der Anpassung: die Devianz beträgt dann 16,96 (df=20). Die Erhöhung der Leukämieinzidenz bei Kindern im Zeitraum 1987 bis 1995 ist gegenüber dem Trend der restlichen Jahre statistisch hoch signifikant ($P=0,0009$). Die Anzahl der Exzessfälle errechnet sich zu 74 beim linearen und zu 168 beim linear-quadratischen Modell.

Abbildung 1 zeigt die Jahresdaten der Leukämieinzidenz 1979 bis 2010 und die Ergebnisse von Regressionen mit

dem linearen Modell (gestrichelte Linie) und dem linear-quadratischen Modell (durchgezogene Linie), jeweils ohne Berücksichtigung der Jahre 1987 bis 1995.

Broken-stick Modell

Wie aus Abbildung 1 ersichtlich, ist die starke Krümmung der Regressionslinie wesentlich bestimmt durch die 2 Punkte am Ende des Studienzeitraums, die deutlich oberhalb des Trends liegen. Eine lineare Regression mit einem Knick (broken stick) im Jahr 2008 führt zu einer hochsignifikanten Verbesserung der Anpassung gegenüber dem linearen Modell ($P=0,0002$). Ein zusätzlicher quadratischer zeitlicher Trend erlaubt eine weitere Verbesserung der Anpassung ($P=0,030$). Mit dem linearen Modell errechnen sich 82 Exzessfälle ($P=0,034$), mit dem linear-quadratischen Modell 145 Fälle ($P=0,0067$). Die Ergebnisse der beiden Regressionen zeigt Abbildung 2.

Nicht nur in den Jahren 2009 und 2010, auch im Jahr 1979 ist die Leukämierate deutlich erhöht. Um zu prüfen, wie stark sich dieser eine Datenpunkt auf das Ergebnis der Regression auswirkt, wird eine Dummyvariable für 1979 ins Modell aufgenommen. Nun verbessert sich die Anpassung beim linearen Modell signifikant ($P=0,027$), die Deviance verringert sich von 18,74 (df=20) auf 14,08 (df=

Tabelle 2: Datensatz Leukämien bei Kindern in Belarus

year	Children (<15y)		Infants (<1y)	
	population	cases	population	cases
1979	2197443	117	151593	8
1980	2184401	95	154432	5
1981	2185220	96	157899	7
1982	2196446	84	159364	8
1983	2215184	88	173510	6
1984	2238730	90	168749	9
1985	2264573	85	165034	6
1986	2290397	98	171611	8
1987	2314080	118	162937	16
1988	2331089	85	163183	8
1989	2344892	100	153448	5
1990	2353946	107	142167	10
1991	2351700	93	132045	9
1992	2339599	107	127971	11
1993	2316682	72	117384	3
1994	2282179	93	110599	4
1995	2235517	83	101144	1
1996	2176313	71	95798	3
1997	2104380	73	89586	3
1998	2012911	53	92645	2
1999	1922525	52	92975	0
2000	1855584	55	93691	0
2001	1785975	63	91720	0
2002	1707691	60	88743	2
2003	1632793	53	88512	1
2004	1562768	58	88943	0
2005	1504105	38	90508	0
2006	1460952	47	96721	0
2007	1432677	42	103626	4
2008	1421557	48	107876	1
2009	1403003	56	109263	6
2010	1409198	62	108050	3

19). Mit einem zusätzlichen quadratischen zeitlichen Term verringert sich die Deviance nicht mehr signifikant ($P=0,159$) auf 12,10 (df=18).

In Tabelle 1 sind die Ergebnisse für das Zeitfenster 1987 bis 1995 und für die einzelnen Modelle zusammengefasst.

Modell mit Tschernobylterm

Die Methode, den erwarteten Verlauf der Leukämieinzidenz für einen längeren Zeitraum nach Tschernobyl – hier für die Jahre 1987 bis 1995 – aus den Daten davor und danach

zu interpolieren, ist mit recht großen Unsicherheiten verbunden. Besser wäre es, den möglichen Tschernobyleinfluss auf die Daten der Leukämierate zu modellieren.

Der zeitliche Verlauf der Leukämieinzidenz wird mit einem Peak im Jahr 1987 und einem glockenförmigen Zusatzterm (Lognormalverteilung) modelliert. Damit kommt der Tschernobylterm mit 4 Parametern aus, einem für den Exzess im Jahr 1987 und drei für die Lognormalverteilung. Das Modell ist allerdings nicht linear; die Da-

ten werden deshalb mit nicht-linearer statt mit logistischer Regression ausgewertet. Auch hier werden zwei Modelle für den langjährigen zeitlichen Trend verwendet, ein linearer und ein linear-quadratischer. Außerdem enthält das Modell Dummyvariable für den Knick im Jahr 2008 und das Jahr 1979.

Das linear-quadratische Modell führt auch hier zu einer besseren Anpassung an die Daten; die Deviance verringert sich von 21,65 (df=24) auf 19,58 (df=23) ($P=0,133$, F-Test). Abb. 3 zeigt das Ergebnis der Auswertung mit dem linear-quadratischen Modell.

Aus der Differenz zwischen der Zahl der beobachteten Leukämiefälle im Zeitraum 1979 bis 2010 und der auf Grund des Verlaufs der Rate ohne den Tschernobylterm erwarteten Fälle (gestrichelte

Linie in Abbildung 3) errechnen sich mit dem linearen Modell 89 Exzessfälle ($P=0,0307$) und mit dem linear-quadratischen Modell 162 Exzessfälle ($P=0,0153$).

Diskussion

Bei allen Unterschieden in der Schätzung der Größe des Effekts ergibt sich bei den verschiedenen Regressionsmodellen übereinstimmend eine statistisch signifikant erhöhte Leukämieinzidenz bei Kindern in Belarus nach Tschernobyl. Lediglich das lineare Modell mit Zeitfenster 1987 bis 1995 scheidet wegen schlechter Anpassung aus. Hier noch einmal die Ergebnisse für die Anzahl der Exzessfälle bei den einzelnen Modellen, jeweils mit einem linearen (L) und einem linear-quadratischen (LQ) zeitlichen Trend:

1. Für das Zeitfenster 1987 bis 1995 ergeben sich 74 (L) bzw. 168 (LQ) Exzessfälle. Allerdings scheidet das lineare Modell wegen schlechter Anpassung an die Daten aus.

2. Läßt man einen Knick im zeitlichen Verlauf im Jahr 2008 zu, so errechnen sich 82 (L) bzw. 145 (LQ) Exzessfälle. Beide Modelle erlauben eine gute Anpassung an die Daten.

3. Mit dem Knick im Jahr 2008 und ohne das Jahr 1979 errechnen sich 96 (L) bzw. 137 (LQ) Exzessfälle.

4. Das Modell mit dem Tschernobylterm, einem Knick im Jahr 2008 und ohne 1979 ergibt 89 (L) bzw. 162 (LQ) Exzessfälle.

Die Krümmung der Regressionslinie beim Modell (1) wird im wesentlichen bestimmt durch die deutlich erhöhten

Punkte an den beiden Enden des Untersuchungszeitraums. Ohne die Daten der Jahre 1979 und 2009 bis 2010 ist die Krümmung nicht signifikant.

Das Modell mit dem glockenförmigen Tschernobylterm kommt ohne Festlegung eines Zeitfensters aus und ist biologisch plausibel. Das Maximum der Leukämieinzidenz zeigt sich im Jahr 1991, fünf Jahre nach Tschernobyl. Außerdem findet sich ein hochsignifikanter Peak schon im Jahr 1987, im ersten Folgejahr von Tschernobyl.

1. Mikhail V. Malko. „Kein Wissenschaftsbetrug“, Strahlentelex (2014) 650-651:01-03
www.strahlentelex.de/Stx_14_65_0-651_S01-03.pdf

Katastrophenplanung

Neue deutsche Notfallpläne bringen nur vergleichsweise reduzierten Strahlenschutz

Zum dritten Jahrestag der Reaktorkatastrophe von Fukushima hat die deutsche Strahlenschutzkommission (SSK) jetzt neue Empfehlungen für die Notfallpläne rund um die deutschen Atomkraftwerke vorgelegt. Sie beziehen sich auf eine Analyse des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) vom April 2012, „basierend auf den Erfahrungen aus dem Unfall in Fukushima“ (vergl. Strahlentelex 646-647 vom 05.12.2013, S. 6-7). Demnach sollen nach einer schweren Atom-Havarie in Deutschland oder in den Nachbarstaaten die Anwohner in einem Radius von künftig fünf statt bisher zwei Kilometern innerhalb von spätestens sechs Stunden aus dieser sogenannten Zentralzone evakuiert werden. Die SSK geht davon aus, daß in diesem Bereich effektive Strahlendosen

von 1.000 Millisievert (mSv) und 1.000 Milligray (mGy) Dosis für das rote Knochenmark bei Erwachsenen und Kleinkindern innerhalb von 7 Tagen bei Daueraufenthalt im Freien für die dortige Bevölkerung erreicht und überschritten werden können. Schwellendosen von etwa 100 mGy für Fehlbildungen, die besonders in den Wochen 3 bis 7 einer Schwangerschaft ausgelöst werden können und von etwa 300 mGy für geistige Retardierung nach Exposition in den Wochen 8 bis 15 (nach Ansicht der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP 2007), würden außerhalb eines 5-Kilometer-Radius nicht mehr erreicht.

Der Radius der sich daran anschließende Mittelzone soll zudem von 10 auf 20 Kilometer vergrößert und inner-

halb von 24 Stunden geräumt werden. Bis zu dieser Entfernung müsse mit dem Überschreiten der Eingreifrichtwerte für „Evakuierung“ (100 mSv effektive Dosis), „Einnahme von Jodtabletten“ (Schilddrüsen-Organosomen von 50 mSv für Kinder und Jugendliche unter 18 Jahren und Schwangere sowie 250 mSv für Personen von 18 bis 45 Jahren) und „Aufenthalt in Gebäuden“ (10 mSv effektive Dosis durch äußere Exposition und inhaliertes Radiojod bei Daueraufenthalt im Freien) sämtlich innerhalb von 7 Tagen gerechnet werden.

Die Außenzone von bisher 50 soll zudem auf 100 Kilometer Radius erweitert werden. Hier sollen die Behörden darauf vorbereitet sein, den Teil der Bevölkerung schnell mit Jodtabletten zu versorgen, der nicht älter als 45 Jahre ist, weil für diese die vorstehenden Eingreifrichtwerte für die Schilddrüse ebenfalls noch erreicht und überschritten werden können. Und weil das auch noch in Entfernungen bis zu 200 Kilometern möglich

sei und mit einem Radius von 200 km um deutsche und grenznahe Anlagen der Nachbarstaaten fast das gesamte deutsche Staatsgebiet abgedeckt wird, hält es die SSK für sinnvoll, im gesamten Gebiet der Bundesrepublik Deutschland Vorbereitungen zur Verteilung von Jodtabletten zu treffen. In dem neuen 100-Kilometer-Ring um die Atomkraftwerke befinden sich dann auch zahlreiche Großstädte, darunter die Millionenstädte Hamburg und München. In ihrem Einzugsbereich liegen die aktiven Atomkraftwerke Brokdorf (Schleswig Holstein) und Isar (Bayern).

Damit wohnen nicht mehr einige hunderttausend Menschen in Evakuierungsgebieten, sondern mehrere Millionen, womit alle mit der Katastrophenbewältigung befaßten Behörden und Organisationen überfordert sein dürften. Die bisherigen Notfallplanungen waren zudem lediglich von einer einmaligen, zeitlich begrenzten Freisetzung von Radionukliden ausgegangen, nicht aber von einer länger andau-