

## Folgen von Fukushima

## Erhöhte Säuglingssterblichkeit und Rückgang der Geburtenrate in Japan nach Fukushima

Nach der Reaktorkatastrophe von Fukushima war die Säuglingssterblichkeit in den am stärksten radioaktiv belasteten Präfekturen um Fukushima im Mittel der ersten drei Quartale des Jahres 2012 um 25 Prozent gegenüber dem Trend der Jahre 2002 bis 2011 erhöht ( $P=0,005$ ). Außerdem zeigt sich im Dezember 2011, 9 Monate nach der Reaktorkatastrophe, ein hochsignifikanter Rückgang der Anzahl der Lebendgeburten um 10 Prozent.

Von Alfred Körblein\*

### Hintergrund

Erste Auswertungen der Monatsdaten der Säuglingssterblichkeit in Japan nach Fukushima zeigten signifikante Maxima im Mai und im Dezember 2011 (siehe Strahlentelex vom Dezember 2012 [1]). Die Analyse basierte auf vorläufigen Zahlen. Seit Herbst 2013 liegen die endgültigen Zahlen bis Dezember 2012 vor, was eine erneute Auswertung nötig machte.

In einer weiteren Auswertung zeigte sich ein statistisch hochsignifikanter Rückgang der Zahl der Lebendgeburten in der Präfektur Fukushima im Dezember 2011, 9 Monate nach der Reaktorkatastrophe (siehe Strahlentelex vom März 2013 [2]). Auch dieses Ergebnis soll nun mit den endgültigen Zahlen überprüft werden.

Die vorliegende Arbeit untersucht die Säuglingssterblichkeit in einem Studiengebiet um Fukushima, das vom Autor auf Basis der mittleren Cäsiumbelastung festgelegt wurde. Es umfasst die Präfekturen Fukushima, Iwate, Miyagi, Gunma, Tochigi, Ibaraki und Chiba (siehe Abbildung 1). Es soll geprüft werden, ob die Säuglingssterblichkeit im Studiengebiet im Jahr 2012 höher

ist als auf Grund des langjährigen Trends erwartet.

### Daten

Monatsdaten der Lebendgeburten und der im ersten Lebensjahr gestorbenen Säuglinge im Zeitraum 2002 bis 2012 sind im Internet unter [www.e-stat.go.jp](http://www.e-stat.go.jp) in japanischer Sprache verfügbar [3]. Freundlicherweise wurden sie dem Autor von Masao Fukumoto aus Berlin als Exceldateien übermittelt.

### Trendanalyse

Die Perinatalsterblichkeit zeigte nach der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl am 26. April 1986 in Deutschland ein erstes Maximum im Februar 1987, mehr als 9 Monate danach [4]. Entsprechend wird ein möglicher Anstieg der Säuglingssterblichkeit in Japan kaum vor Ende 2011 zu erwarten sein. Im Folgenden wird geprüft, ob die Sterblichkeit im Studiengebiet ab Januar 2012 vom Trend der Daten vor 2012 abweicht. Dazu wird eine gemeinsame logistische Regression der Daten im Studiengebiet und im Kontrollgebiet (Japan ohne Studiengebiet) durchgeführt mit individuellen Schätzern für die Intercepts und gemeinsamem Trendparameter. Die Monatswerte der Säuglingssterblichkeit ab März 2011 werden daraufhin mit dem

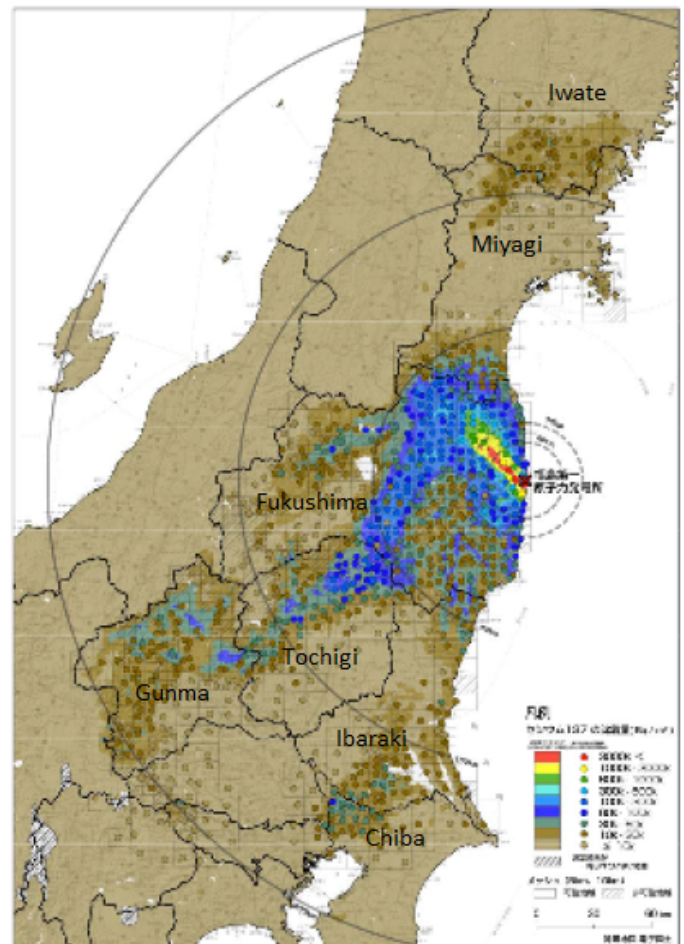


Abbildung 1: Cäsium-Bodenbelastung im Studiengebiet um Fukushima, bestehend aus den Präfekturen Fukushima, Iwate, Miyagi, Gunma, Tochigi, Ibaraki und Chiba.

Quelle: MEXT-Pressemitteilung vom 12.09.2012 (MEXT: Ministerium für Bildung und Forschung)

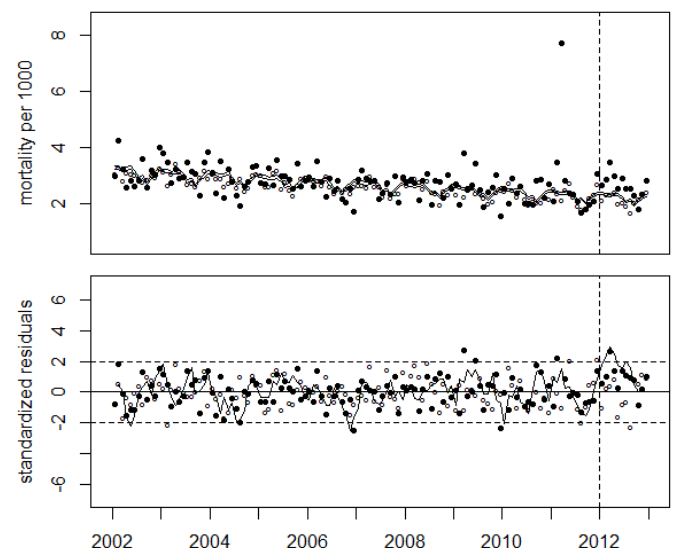


Abbildung 2:

Oben: Verlauf der Monatswerte der Säuglingssterblichkeit im Untersuchungsgebiet (schwarze Punkte) und im Übrigen Japan (offene Kreise) und Regressionslinien.

Unten: Abweichungen vom Trend der Daten vor dem März 2011, in Einheiten von Standardabweichungen (standardized residuals). Durchgezogene Linie: Gleitender Dreimonats-Mittelwert. Die senkrechte gestrichelte Linie markiert den Beginn des Jahres 2012.

\* Dr. Alfred Körblein,  
alfred.koerblein@gmx.de

extrapolierten Trend der Jahre vor Fukushima verglichen.

Monatsdaten unterliegen in der Regel periodischen saisonalen Schwankungen. Die sogenannte Saisonfigur sollte sich aber innerhalb Japans nicht unterscheiden, weshalb in beiden Datensätzen die gleiche Saisonfigur angenommen wird. Dafür werden die Monate Februar bis Dezember durch insgesamt 11 Dummyvariable (feb, mar, .., dec) gekennzeichnet; der Januar dient als Referenzmonat. Insgesamt benötigt das logistische Regressionsmodell 14 Parameter. Es hat die folgende Form, ausgedrückt in der Notation des Statistikprogramms R:

```
glm(y ~
x+feb+mar+apr+may+jun+jul
+aug+sep+oct+nov+dec+stud
y, family=binomial)
```

Die Zeitvariable  $x$  wird definiert als Kalendermonat minus 2000, wobei der Kalendermonat ( $t$ ) in Bruchteilen eines Jahres angegeben wird. So bedeutet beispielsweise der Januar 2002  $t=2002+1/24$ . Die Dummyvariable  $study$  kennzeichnet die Daten des Studiengebiets.

Abbildung 2 zeigt den Verlauf der Säuglingssterblichkeit im Studiengebiet und im Kontrollgebiet und die Regressionslinien. Darunter sind die Abweichungen der beobachteten Daten vom Trendwert in Einheiten von Standardabweichungen (Residuen, standardized residuals) aufgetragen. Diese liegen fast alle im Bereich von  $\pm 2$  Standardabweichungen.

Im März 2011 zeigt sich im Studiengebiet ein starker Anstieg der Säuglingssterblichkeit, der vermutlich auf das Erdbeben und den Tsunami zurückzuführen ist. Im Verlauf der Residuen nach Fukushima zeigt sich ein signifikantes Maximum im März 2012. Im Zeitraum Dezember 2011 bis September 2012 liegen alle Residuen oberhalb der Nulllinie. Aus der Abweichung zwischen den beobach-

teten und den auf Grund des Trends erwarteten Werten der Säuglingssterblichkeit errechnen sich für diesen Zeitraum 60 zusätzlich gestorbene Säuglinge.

### Alternativer Ansatz: Auswertung der odds ratios

Wird anstelle der Raten der Säuglingssterblichkeit das Verhältnis der Raten im Studiengebiet zu den Raten im Kontrollgebiet untersucht, so vereinfacht sich das Regressionsmodell erheblich; man

kommt dann mit nur einem Parameter (Intercept) aus.

Aus rechentechnischen Gründen wird anstelle des Verhältnisses der Raten  $p = ID/LB$  das Verhältnis der odds  $= p/(1-p) = ID/(LB-ID)$ , das sogenannte odds ratio (OR), ausgewertet. Dabei bedeutet ID die Anzahl der gestorbenen Säuglinge (infant deaths, ID) und LB die Anzahl der Lebendgeborenen (live births, LB). Die odds ratios werden logarithmiert, weil dann die Varianzen (var) einfach zu berechnen

sind. Für sie gilt:

$$\text{var} = 1/ID0 + 1/(LB0-ID0) + 1/ID1 + 1/(LB1-ID1),$$

wobei die Zahl 1 das Studiengebiet und die Zahl 0 das Kontrollgebiet bezeichnet. Das varianzgewichtete lineare Regressionsmodell  $\text{lm}()$  hat dann die folgende Form (Notation R):

$$\text{lm}(y \sim \text{dmar11} + Q1+Q2+Q3+Q4, \text{weights}=1/\text{var}).$$

Die abhängige Variable  $y$  ist  $\ln(\text{OR})$ . Die Dummyvariable  $\text{dmar11}$  markiert den Monat März 2011 und die Dummyvariablen  $Q1$  bis  $Q4$  bezeichnen die 4 Quartale des Jahres 2012.

Das Modell erlaubt ebenfalls eine gute Anpassung an die Daten (deviance=109,5 bei 126 Freiheitsgraden). Tabelle 1 enthält die Regressionsergebnisse.

In den ersten 3 Quartalen 2012 sind die odds ratios jeweils signifikant erhöht (+27,1%, +23,8%, +25,1%); im 4. Quartal zeigt sich kein Effekt (-4,7%). Da sich die Säuglingssterblichkeit im 4. Quartal 2012 nicht nennenswert vom Erwartungswert unterscheidet ( $P=0,664$ ), kann die Dummyvariable  $Q4$  im Regressionsmodell wegfallen. Die mittlere Erhöhung in den ersten 3 Quartalen beträgt dann 25,5% ( $P=0,0046$ , F-Test mit (3;127) Freiheitsgraden).

Abbildung 3 zeigt den Verlauf der odds ratios und die Abweichungen der odds ratios vom Erwartungswert.

### Geburtendefizit im Dezember 2011

Zur Bestimmung des Geburtendefizits im Dezember 2011 werden die Monatsdaten der Lebendgeborenen (LB) von Januar 2006 bis Dezember 2011 mit Poissonregression und einer Dummyvariable  $\text{ddec11}$  ausgewertet, welche den Monat Dezember 2011 markiert. Wieder müssen neben den Zeitvariablen  $x$  und  $x2$  saisonale Schwankungen berücksich-

Tabelle 1:  
Regression der odds ratios der Säuglingssterblichkeit

parameter	estimate	SE	t value	P value
(Intercept)	0.0418	0.0155	2.703	0.0078
dmar11	1.2446	0.1219	10.208	<0.0001
Q1	0.2401	0.1016	2.363	0.0197
Q2	0.2133	0.1053	2.025	0.0450
Q3	0.2237	0.1077	2.077	0.0398
Q4	-0.0485	0.1114	-0.435	0.6643

Tabelle 2:  
Geburtendefizit im Dezember 2011 im Studiengebiet

parameter	estimate	SE	t value	P value
Intercept	9.3822	0.0554	169.452	0.0000
x	0.0341	0.0127	2.696	0.0092
x2	-0.0026	0.0007	-3.724	0.0005
feb	-0.1038	0.0091	-11.434	0.0000
mar	-0.0185	0.0089	-2.077	0.0423
apr	-0.0194	0.0089	-2.177	0.0336
may	0.0104	0.0088	1.18	0.2429
jun	-0.0067	0.0089	-0.753	0.4543
jul	0.0427	0.0088	4.864	0.0000
aug	0.0390	0.0088	4.431	0.0000
sep	0.0341	0.0088	3.874	0.0003
oct	0.0310	0.0088	3.512	0.0009
nov	-0.0330	0.0090	-3.671	0.0005
dec	0.0079	0.0093	0.852	0.3980
ddec11	-0.1063	0.0189	-5.627	5.8E-7

Tabelle 3:  
Geburtendefizit in den Präfekturen des Studiengebiets

Prefecture	%change	P value	birth deficit
Iwate	-5.2%	0.1567	39
Miyagi	-18.1%	<0.0001	274
Fukushima	-15.3%	0.0002	190
Gunma	-6.8%	0.1009	86
Tochigi	-11.3%	0.0061	151
Ibaraki	-6.7%	0.0026	129
Chiba	-8.8%	0.0002	382
study region	-10.1%	5.8E-7	1251
rest of Japan	-3.0%	0.0459	2329
all of Japan	-4.0%	0.0090	3572

sichtigt werden (Dummyvariable feb, mar, .., dec). Das Regressionsmodell hat damit die Form (R-Notation):

```
glm(LB ~
x+feb+mar+apr+may+jun+jul+
aug+sep+oct+nov+dec+x2+dd
ec11, family=quasipoisson).
```

Wegen der bei solchen Daten üblichen starken Streuung, die weit größer ist als statistisch erwartet, muss „Overdispersion“ berücksichtigt werden. Dies wird mit der Option „quasipoisson“ erreicht. Die Ergebnisse der Auswertung zeigt Tabelle 2.

Der Rückgang der Geburtenzahl im Dezember 2011 beträgt  $\exp(-0,1063)-1 = -10,1\%$  und ist hochsignifikant ( $P=5,8E-7$ ).

Abbildung 4 zeigt den Trend der Daten (oben) im Zeitraum 2006 bis 2012 und die standardisierten Residuen (unten). Ein signifikanter Rückgang der Geburten ist nur im Dezember 2011 feststellbar, nicht im Monat davor (November 2011) und danach (Januar 2012). Das stützt die Hypothese, dass der Geburtenrückgang durch eine Zunahme von spontanen Aborten unmittelbar nach der Befruchtung im März 2011 verursacht ist.

Um zu prüfen, ob sich ein Zusammenhang zeigt zwischen Strahlenbelastung und Geburtenrückgang, wurden die Daten aus den 7 Präfekturen des Studiengiebts einzeln ausgewertet. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 3.

Spitzenreiter sind die Präfekturen Miyagi (-18,1%,  $P < 0,0001$ ), Fukushima (-15,3%,  $P=0,0002$ ) und Tochigi (-11,3%,  $P=0,0061$ ). Den geringsten Rückgang verzeichnet Iwate (-5,2%,  $P=0,157$ ).

Insgesamt errechnen sich 1251 fehlende Geburten im Studiengiebts und 3572 in Japan insgesamt ( $P=0,0090$ ).

**Diskussion**

Die Säuglingssterblichkeit ist in den am stärksten belasteten

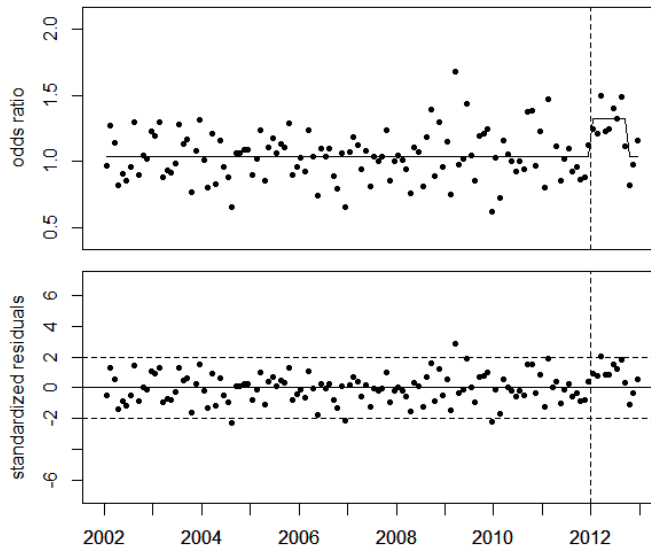


Abbildung 3: Oben: **Verhältnis der Säuglingssterblichkeit im Untersuchungsgebiet zur Sterblichkeit im übrigen Japan (odds ratio) und Regressionslinie.** Unten: **standardisierte Residuen (standardized residuals).**

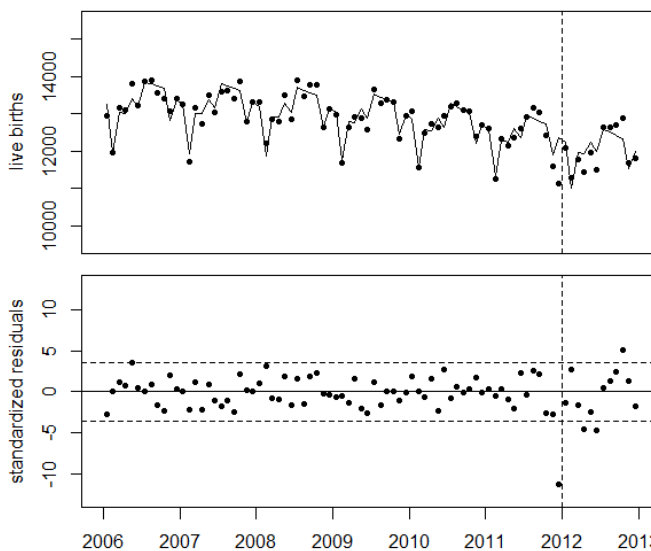


Abbildung 4: Oben: **Monatswerte der Zahl der Lebendgeburten im Studiengiebts und Regressionslinie.** Unten: **standardisierte Residuen (standardized residuals).**

Präfekturen um Fukushima in den ersten drei Quartalen des Jahres 2012 gegenüber dem Trend der Jahre vor 2012 signifikant erhöht. Der Rückgang der Zahl der Lebendgeburten im Dezember 2011 ist hoch signifikant, sodass Zufall ausgeschlossen werden kann. Auch zeigt sich ein Zusammenhang der Stärke des Effekts mit der Cäsiumbelastung. Der Effekt ist auf einen Monat beschränkt, was die Annahme stützt, dass der Geburtenrückgang eine Folge vermehrter spontaner Ab-

gänge von befruchteten Eizellen zum Zeitpunkt der höchsten Strahlenbelastung nach dem Reaktorunfall im März 2011 ist. Die Annahme, der Geburtenrückgang sei allein durch Zurückhaltung bei der Zeugung von Nachwuchs zu erklären, erscheint dem Autor deshalb unwahrscheinlich.

1. Körblein A. Säuglingssterblichkeit in Japan nach Fukushima: Strahlentelex 622-623 / 2012:12-14. [www.strahlentelex.de/Stx\\_12\\_622-623\\_S12-14.pdf](http://www.strahlentelex.de/Stx_12_622-623_S12-14.pdf)

2. Körblein A. Rückgang der Geburten in Japan 9 Monate nach Fukushima. Strahlentelex 628-629 / 2013:2-3. [www.strahlentelex.de/Stx\\_13\\_628-629\\_S02-03.pdf](http://www.strahlentelex.de/Stx_13_628-629_S02-03.pdf)  
 3. [www.e-stat.go.jp/SG1/estat/NewList.do?id=000001028897](http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/NewList.do?id=000001028897)  
 4. Körblein A, Küchenhoff H. Perinatal mortality in Germany following the Chernobyl accident. Radiat Environ Biophys. 1997 Feb;36(1):3-7. ●

**Atomwirtschaft / Japan**

**Der Augiasstall**

**Tepco verschiebt staatliche Gelder**

Der Energiekonzern Tepco, Betreiber von Fukushima Daiichi und zwei weiterer AKWs in Nordjapan sowie zahlreicher Wasser-, Öl- und Gaskraftwerke, wurde als Folge der Katastrophe in Fukushima Daiichi de facto verstaatlicht. Er gehört nun zu 56 Prozent dem ‚Fond zur Förderung der Haftung für Nuklearschäden‘. Im Zuge einer Unternehmensreform wurde im November 2012 eine Kommission aus hochrangigen externen Beratern gebildet, der Tepco-Mitarbeiter und Mitarbeiter des Haftungsfonds zuarbeiten.

Wie die Zeitung Asahi Shimbun aus Kreisen der Kommission erfuhr, untersuchte man dort die Beschaffungs- und Bauprojekte, die in einer Größenordnung von über einer Billion Yen (ca. 7,1 Milliarden Euro) auf der Kostenseite zu Buche schlugen. Man fand dabei „zahlreiche Fälle“, in denen das Doppelte bis hin zum Fünffachen der Marktpreise gezahlt wurden bzw. werden. Eine Kaskade von Subunternehmen, wie sie bei den Arbeiten in Fukushima Daiichi auffällt, scheint auch im normalen Geschäft üblich zu sein. Davon profitierten Tochtergesellschaften oder verbundene Subunternehmer von Tepco.

Beispielsweise wurden im Geschäftsbereich Stromverteilung, wo es um Masten- und