

13. Internetseite des LfULG, Rubrik Publikationen
 14. Foto aus Ohlendorf, Mrotzig „Untersuchung und Wiederverwendung von uranerz-kontaminierten Mineralstoffen – abfallrechtliche und strahlenschutzrechtliche Anforderungen“, Dresden 2004 ●

nierten Mineralstoffen – abfallrechtliche und strahlenschutzrechtliche Anforderungen“, Dresden 2004 ●

Tschernobylfolgen

Gestörtes Geschlechterverhältnis in Kuba – ein Erklärungsversuch

Von Alfred Körblein*

Das Geschlechterverhältnis bei der Geburt stieg in Kuba nach 1986 hochsignifikant an mit einem Maximum im Jahr 1988. Zusätzlich zeigt sich aber ein zweiter Anstieg mit Maximum Mitte der 1990er Jahre. Erst nach dem Jahr 2000 erreicht das Geschlechterverhältnis wieder das Niveau der Zeit vor 1987. Eine mögliche Erklärung für diesen Langzeiteffekt könnte die verzögerte Wirkung von Strontium in importiertem Milchpulver aus der Sowjetunion sein.

Hintergrund

Im Strahlentelex vom September 2013 stellte Ralf Kusmierz die Ergebnisse der kürzlich erschienenen Veröffentlichung von Scherb, Kusmierz und Voigt [1] zu einem erhöhten Verhältnis zwischen männlichen und weiblichen Geburten (sex ratio) in Kuba und Russland nach Tschernobyl vor [2]. Scherb et al. führen die beobachtete Erhöhung auf die Strahlenbelastung der kubanischen Bevölkerung über den Konsum von importierten Nahrungsmitteln aus der Sowjetunion zurück. Tatsächlich wurden in der zweiten Hälfte der 1980er Jahre erhebliche Mengen Milchpulver aus der Sowjetunion importiert, am meisten (circa 55.000 Tonnen)

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

im Jahr 1987. Es ist anzunehmen, dass dieses Milchpulver in den ersten Jahren nach Tschernobyl in erheblichem Umfang radioaktiv belastet war. Der starke Anstieg in den Jahren 1987 bis 1989 mit Maximum im Jahr 1988 wäre also mit einem Einfluss der Strahlenbelastung auf die sex ratios erklärbar. Für den erneuten Anstieg in den 1990er Jahren machen Scherb et al. genetische Strahleneffekte verantwortlich.

Im vorliegenden Beitrag schlage ich einen weiteren möglichen Wirkungsmechanismus zur Erklärung des Effekts in den 1990er Jahren vor.

Auswertung des Geschlechterverhältnisses

Geschlechtsspezifische Daten der Lebendgeburten in Kuba für die Jahre 1962 bis 2011 befinden sich auf der Homepage der staatlichen kubanischen Statistikbehörde www.one.cu [3]. Wikipedia [4] stellt Fünf-Jahres-Mittelwerte der Säuglingssterblichkeit für den Zeitraum 1950 bis 2010 und für 188 Länder, darunter auch Kuba, zur Verfügung. Für die Datenanalysen wurde das Statistikpaket R verwendet.

Den Verlauf der Jahresdaten des Geschlechterverhältnisses (sex ratio) in Kuba, 1962 bis 2011, zeigt Abbildung 1. In den Jahren 1995 und 1996 liegen die Werte weit oberhalb der Werte für die restlichen Jahre. Über die Ursachen gibt es verschiedene Vermutungen,

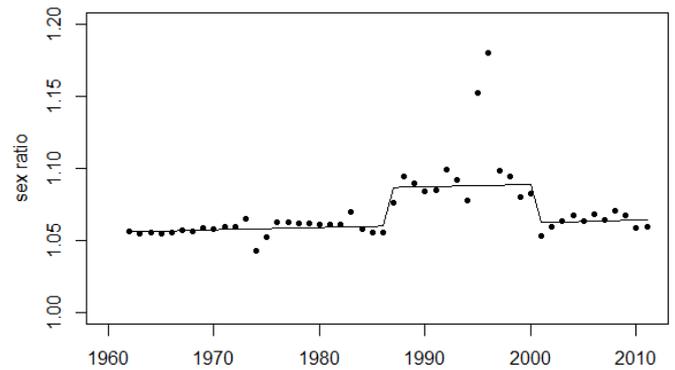


Abbildung 1: Sex ratios bei Neugeborenen in Kuba, 1962 bis 2011, und Ergebnis einer Regression ohne die Daten von 1995 bis 1996.

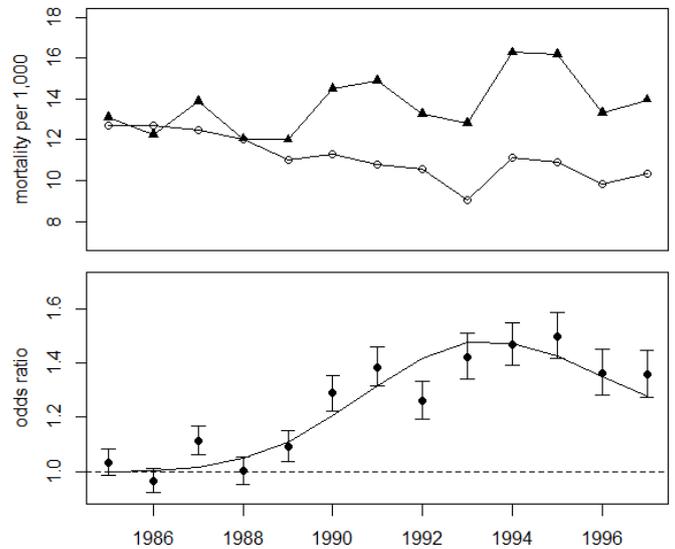


Abbildung 2: Oben: Perinatalsterblichkeit in Gomel plus Zhytomir (Studienregion, schwarze Dreiecke) und in Belarus ohne Gomel und Minsk City (Kontrollregion, offene Kreise). Unten: Verhältnis der Rate der Perinatalsterblichkeit in der Studienregion zur Rate in der Kontrollregion (odds ratio).

Tabelle 1: Regression der sex ratios mit dem Hutmodell

| parameter | estimate | SE | t value | P value |
|-----------|----------|--------|---------|----------|
| intercept | 0,0544 | 0,0014 | 38,998 | <2,0E-16 |
| t | 0,0002 | 0,0001 | 2,799 | 0,0075 |
| d8700 | 0,0247 | 0,0019 | 12,768 | <2,0E-16 |
| d95 | 0,0575 | 0,0060 | 9,653 | 1,6E-12 |
| d96 | 0,0811 | 0,0061 | 13,306 | <2,0E-16 |

die in [1] ausführlich diskutiert werden. Allerdings wird in einem Webblog von Ludi Simpson [5] der Leiter der Abteilung für Bevölkerungsstudien im kubanischen nationalen Statistikbüro (ONE), Enrique González zitiert. Er erklärt die erhöhten sex ratios Mitte der 1990er Jahre mit einem Registrierfehler infolge

der Einführung neuer Formulare für die Geburtszertifikate: „The registrar in the hospital who completed the form had to be very careful to locate one sheet above the other with carbon paper between and whatever small deviation resulted in a movement of the mark on the copy. [...] Any movement in the original form

relative to the copy could mean that the mark was made out of place and in these cases the person who entered the information on computer tended to enter the code 1 which appears first.“

Auswertung der Daten der sex ratios

Eine Regression der sex ratios mit einem „Hut“-Modell, also einer gleichmäßigen Verschiebung der sex ratios nach oben im Zeitraum 1987 bis 2000 (Dummyvariable d8700), und mit einem linearen zeitlichen Trend und Dummyvariablen für 1995 (d95) und 1996 (d96) erlaubt eine gute Anpassung an die Daten (deviance=54,35; df= 45). Die Ergebnisse der Regression zeigt Tabelle 1.

Die Erhöhung im Zeitraum 1987 bis 2000 ist hochsignifikant. Die sex ratios in den Jahren 1995 und 1996 passen nicht zum Trend der restlichen Jahre, die Abweichungen sind hochsignifikant (s. Tab.1). Sie werden deshalb bei den folgenden Analysen nicht berücksichtigt.

Das „Hutmodell“ erlaubt zwar eine gute Anpassung an die Daten. Aber gibt es für die erhöhten sex ratios im Zeitraum 1987 bis 2000 eine plausible Erklärung?

Das Strontiummodell

Beim Studium der Auswirkungen von Tschernobyl auf die Perinatalsterblichkeit in Weißrussland (Belarus) und der Ukraine fand ich ähnliche Effekte wie die in Kuba in den 1990er Jahren. Ich verglich den Verlauf der Perinatalsterblichkeit in Gomel, der vom Tschernobylfallout höchstbelasteten Region von Belarus, mit der Perinatalsterblichkeit im Rest von Belarus ohne die Hauptstadt Minsk (Kontrollregion). Das Verhältnis der Raten der Perinatalsterblichkeit wies ein breites Maximum in den 1990er Jahren auf. Die Daten aus Zhytomir, der höchstbelasteten Region der Ukraine, zeigten einen

Tabelle 2: Regression der sex ratios mit dem Strontiumterm

| parameter | estimate | SE | t value | P value |
|-----------|----------|--------|---------|----------|
| c0 | 0,0553 | 0,0017 | 33,127 | <2,0E-16 |
| c1 | 0,0001 | 0,0001 | 1,160 | 0,2526 |
| c2 | 0,3805 | 0,1313 | 2,898 | 0,0060 |
| c3 | 0,0170 | 0,0056 | 3,026 | 0,0043 |
| c4 | 0,0297 | 0,0061 | 4,871 | <0,0001 |
| c5 | 0,0214 | 0,0063 | 3,400 | 0,0015 |
| c6 | 0,0076 | 0,0051 | 1,473 | 0,1483 |

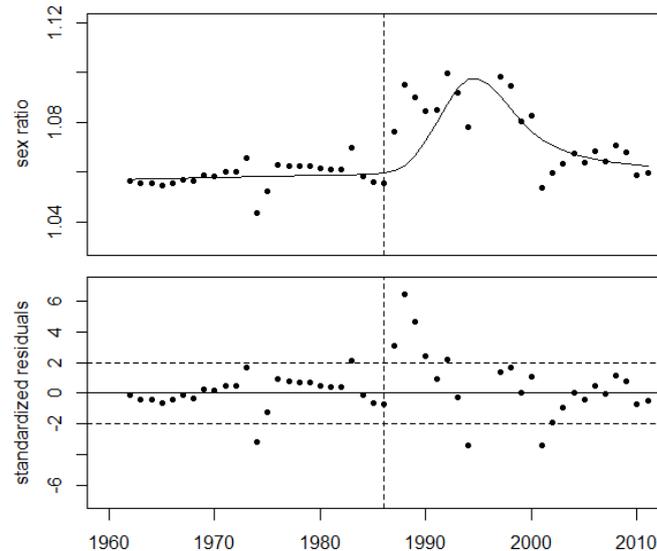


Abbildung 3:
Oben: **Sex ratios in Kuba und Ergebnis einer Regression mit dem Strontiumterm.**
Unten: **Standardisierte Residuen. Die senkrechte gestrichelte Linie kennzeichnet das Jahr 1986.**

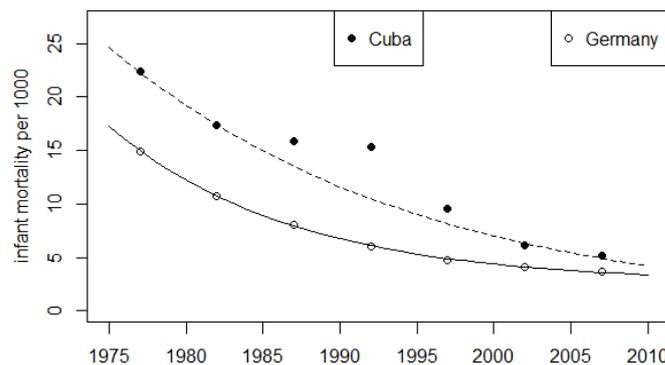


Abbildung 4:
Säuglingssterblichkeit in Kuba 1975 bis 2009, 5-Jahres-Mittelwerte, und Ergebnis einer Regression ohne die Daten für 1985 bis 1999. Zum Vergleich die Werte für Deutschland.

ganz ähnlichen Verlauf [6].

Abbildung 2 zeigt die zeitlichen Verläufe der Perinatalsterblichkeit in Gomel, in Zhytomir und in der Kontrollregion (Belarus ohne Gomel und Minsk City). Im Bild darunter ist das Verhältnis der Rate der Perinatalsterblichkeit

in Gomel plus Zhytomir zur Rate im Kontrollgebiet (odds ratio) aufgetragen.

Die durchgezogene Linie in Abbildung 2 unten ist das Ergebnis einer Regression der odds ratio mit einem mathematischen Modell, das den Einfluss der Strontiumbela-

stung auf den Verlauf der Perinatalsterblichkeit wiedergibt. Details zur Berechnung finden sich in [6]. Der Grundgedanke ist, dass Strontium, das ein Mädchen im Alter von 14 Jahren, der Zeit des größten Längenwachstums, in die Knochen aufnimmt, zu einer Schwächung des Immunsystems führt. Dies führt in späteren Jahren, wenn diese Mädchen schwanger werden, zu einem höheren Risiko von Fehlbildungen bzw. zu einer erhöhten Perinatalsterblichkeit.

Im Folgenden verwende ich den Strontiumterm aus [6] für die Regression der Daten der sex ratios aus Kuba. Die Abweichungen der sex ratios in den Jahren 1987 bis 1990 vom Trend werden der Cäsiumbelastung der Nahrung im Vorjahr zugeschrieben; die Erhöhungen in den einzelnen Jahren werden durch Dummyvariablen (d87, d88, d89, d90) geschätzt. Weiterhin wird angenommen, dass der Strontiumeffekt proportional zum Cäsiumeffekt ist. Der Strontiumterm besteht aus 4 überlagerten Termen (Sr_{1986} , Sr_{1987} , Sr_{1988} , Sr_{1989}), welche die Folgen der Strontiumaufnahme im jeweiligen Jahr (1986 bis 1989) berücksichtigen.

Das Regressionsmodell hat damit die Form:

$$p \sim 1 / (1 + \exp(c0 + c1 \cdot t + c2 \cdot (c3 \cdot Sr_{1986} + c4 \cdot Sr_{1987} + c5 \cdot Sr_{1988} + c6 \cdot Sr_{1989}) + c3 \cdot d87 + c4 \cdot d88 + c5 \cdot d89 + c6 \cdot d90))$$

Die Ergebnisse der Analyse zeigt Tabelle 2.

Wie aus Abbildung 3 ersichtlich, gelingt auch mit diesem Modell eine recht gute Anpassung an die Daten (deviance 67,8; df=41). Die Erhöhung der sex ratio im Jahr 1988 beträgt 3,0 Prozent ($c4=0,030$; $P<0,0001$). Die Proportionalität zwischen Cäsiumeffekt und Strontiumeffekt (Parameter c2) ist deutlich signifikant ($P=0,006$).

Säuglingssterblichkeit in Kuba

Leider fand ich keine Jahresdaten der Säuglingssterblich-

keit in Kuba für den hier interessierenden Zeitraum 1985 bis 2000. Aber im englischen Wikipedia werden 5-Jahres-Mittelwerte der Säuglingssterblichkeit für 1950 bis 2010 für 188 Länder angegeben [4].

Abbildung 4 zeigt die Daten der Säuglingssterblichkeit in Kuba in den Jahren 1975 bis 2010. Eine logistische Regression dieser Daten mit 3 Dummyvariablen ergab signifikante Erhöhungen in allen drei Zeitfenstern (1985 bis 1989: +18% $P=0,018$; 1999 bis 1994: +46% $P=0,004$, 1995 bis 1999: +17% $P=0,038$). Also wird in Kuba nach Tschernobyl das erhöhte Geschlechterverhältnis begleitet von einer erhöhten Säuglingssterblichkeit. Die Erhöhung entspricht 7049 zusätzlich gestorbenen Säuglingen im Zeitraum 1985 bis 1999. In Deutschland gab es nach Tschernobyl dagegen keine merkliche Erhöhung der Säuglingssterblichkeit.

Eine ähnliche Parallele zwischen Säuglingssterblichkeit und Geschlechterverhältnis zeigte sich auch in England und Wales nach den oberirdischen Atomwaffentests in den 1950er und 1960er Jahren (siehe Strahlentelex vom Februar 2010 [7]). Abbildung 5 zeigt den Verlauf der Daten der Säuglingssterblichkeit 1948 bis 2004 und die Trendlinie. Die gestrichelte Linie ist der aus dem Modell folgende ungestörte Trend der Daten. Darunter sind die Abweichungen der Daten von der Regressionslinie (standardisierte Residuen) aufgetragen. Die Jahre 1986 bis 1991 wurden bei der Regression nicht berücksichtigt; sie weichen hochsignifikant vom langjährigen Trend ab. Der Frage, ob diese Abweichung mit Tschernobyl zu erklären ist, muss in einer eigenen Studie nachgegangen werden.

Abbildung 6 zeigt das sex ratio in England und Wales im gleichen Zeitraum und das Er-

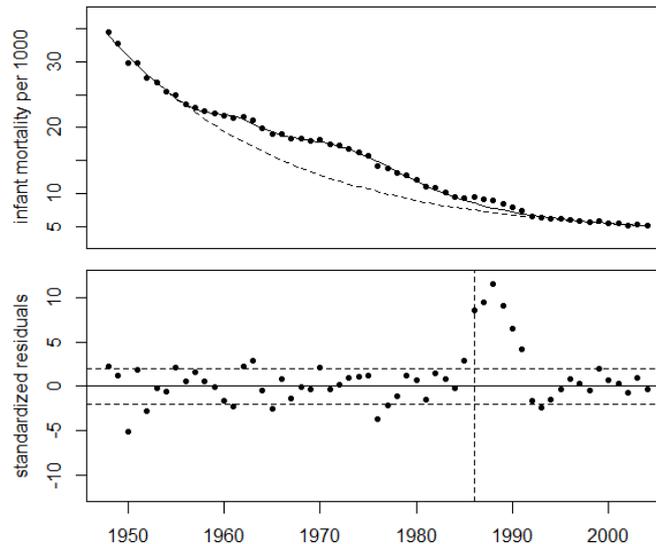


Abbildung 5:
Oben: **Säuglingssterblichkeit in England und Wales, 1948 bis 2004 und Trendlinie.**
Unten: **Standardisierte Residuen. Die senkrechte gestrichelte Linie kennzeichnet das Jahr 1986.**

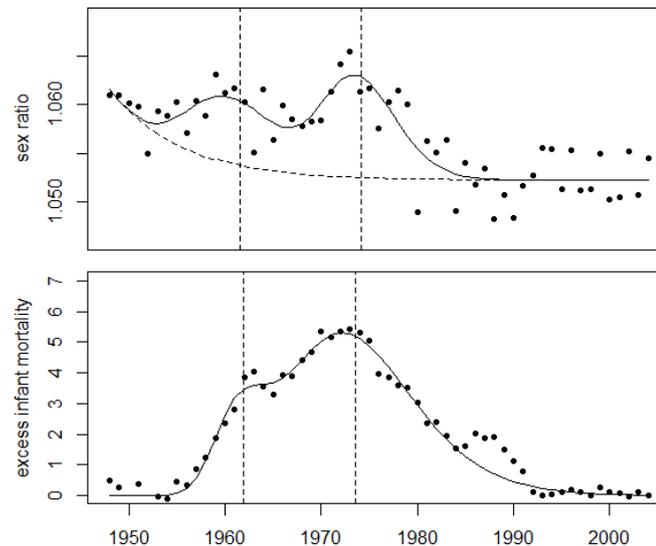


Abbildung 6:
Oben: **Sex ratios in England und Wales und Regressionslinie.**
Unten: **Abweichungen der Säuglingssterblichkeit vom ungestörten Trend (gestrichelte Linie in Abbildung 5 oben). Die senkrechten Linien kennzeichnen die Medianwerte der Lognormalverteilungen.**

gebnis einer Regression mit zwei Lognormalverteilungen. Im unteren Teil sind die Abweichungen der Säuglingssterblichkeit vom errechneten ungestörten Trend aufgetragen. Die Medianwerte der Lognormalverteilungen (senkrechte gestrichelte Linien), welche näherungsweise die Maxima der Verteilungen anzeigen, stimmen in beiden Datensätzen gut überein.

Diskussion

Das hier vorgeschlagene Strontiummodell beruht auf etlichen vereinfachenden Annahmen, es erlaubt jedoch eine erstaunlich gute Anpassung an die kubanischen Daten der sex ratios. Die Ergebnisse bestätigen damit eindrucksvoll die Hypothese, dass radioaktive Strahlenbelastung das Geschlechterverhältnis erhöht.

Außerdem zeigt sich ein Zusammenhang zwischen dem

Anstieg des Geschlechterverhältnisses und dem der Säuglingssterblichkeit nach Tschernobyl. Dies spricht für eine gemeinsame Ursache. Als solche wird in der vorliegenden Arbeit die Schädigung des Immunsystems durch inkorporiertes Strontium als mögliche Ursache postuliert.

Würde es gelingen, die Jahresdaten der Säuglingssterblichkeit aus Kuba zu erhalten, könnte der zeitliche Zusammenhang zwischen Säuglingssterblichkeit und Geschlechterverhältnis untersucht werden, so wie es bei den entsprechenden Daten aus England und Wales nach den oberirdischen Atomwaffentests möglich war.

1. Scherb H, Kusmierz R, Voigt K. Increased sex ratio in Russia and Cuba after Chernobyl: a radiological hypothesis. Environ Health. 2013 Aug 15;12(1): 63.
2. Ralf Kusmierz. Fehlende Mädchen in Kuba durch Radionuklide in importierter Nahrung. Strahlentelex (2013) 640-641:1-6. http://www.strahlentelex.de/Stx_13_640-641_S01-06.pdf
3. Kubanische Statistikbehörde, http://www.one.cu/publicaciones/cepde/anuario_2011/8_anuario_nacimiento.pdf
4. Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_infant_mortality_rate
5. Webblog von Ludi Simpson, verfügbar unter: <http://www.radstats.org.uk/no077/simpson.htm>
6. Körblein A. Perinatalsterblichkeit im Nahbereich des Tschernobylreaktors korreliert mit der Strontiumbelastung. Strahlentelex (2012) 606-607:7-9. http://www.strahlentelex.de/Stx_12_606_S07-09.pdf
7. Körblein A. Säuglingssterblichkeit und Geschlechterverhältnis nach den atmosphärischen Atomwaffentests. Strahlentelex (2010) 554-555: 1-5. http://www.strahlentelex.de/Stx_10_554_S01-05.pdf