

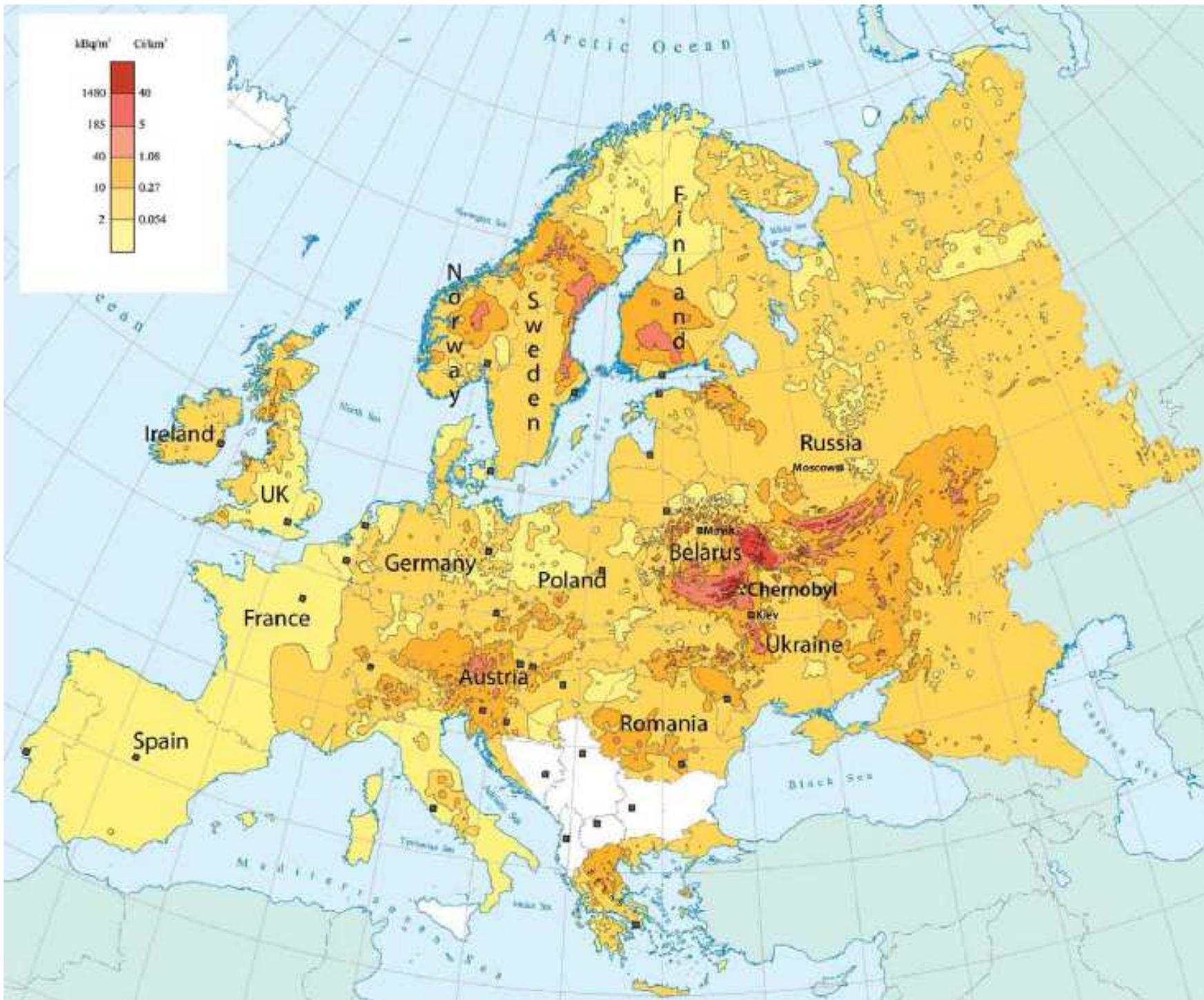
30 Jahre Tschernobyl - 5 Jahre Fukushima:  
Gesundheitliche Auswirkungen der Strahlenbelastung

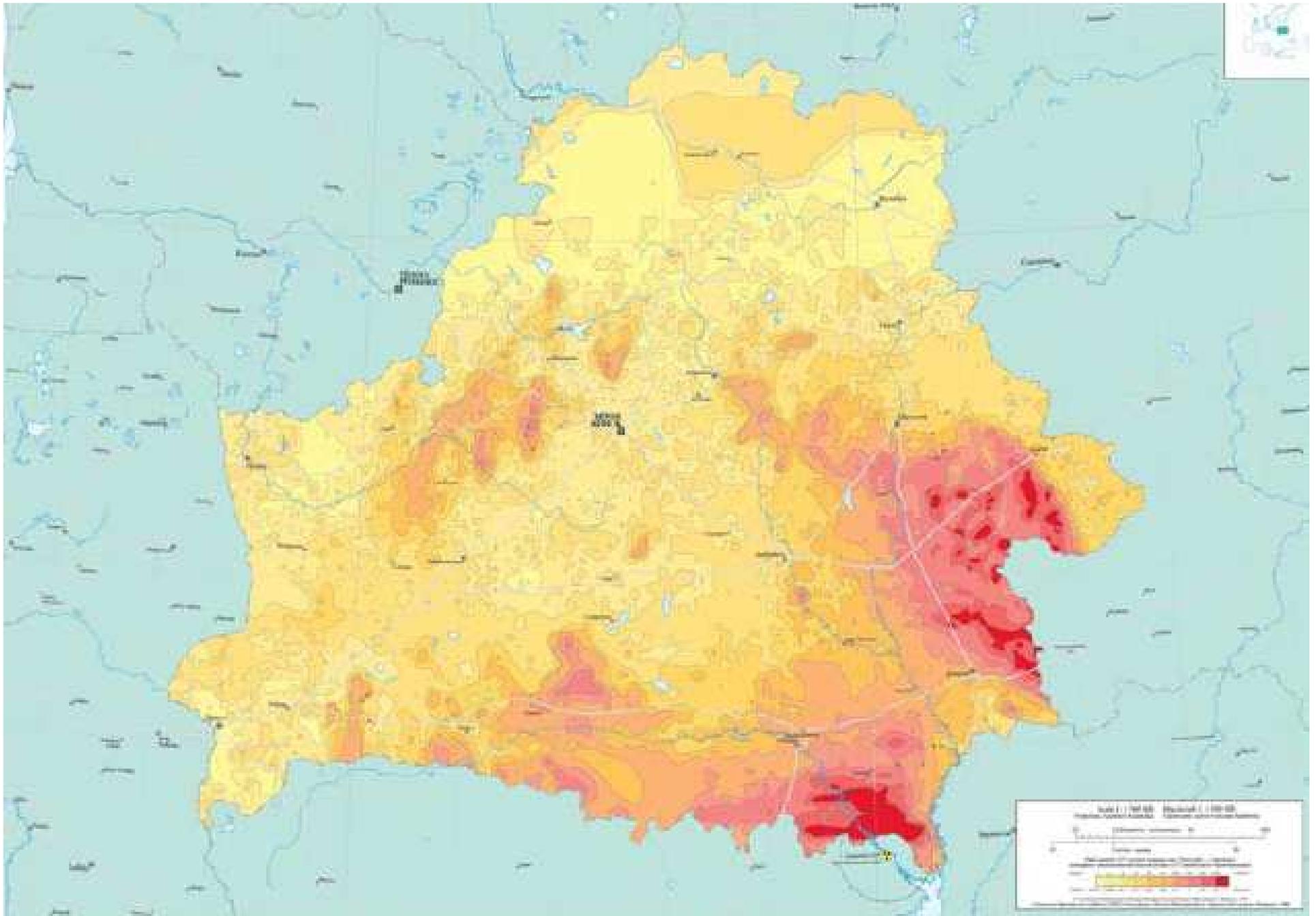
## Kinderkrebs um Atomkraftwerke

Dr. Alfred Körblein

# Tschernobylfolgen







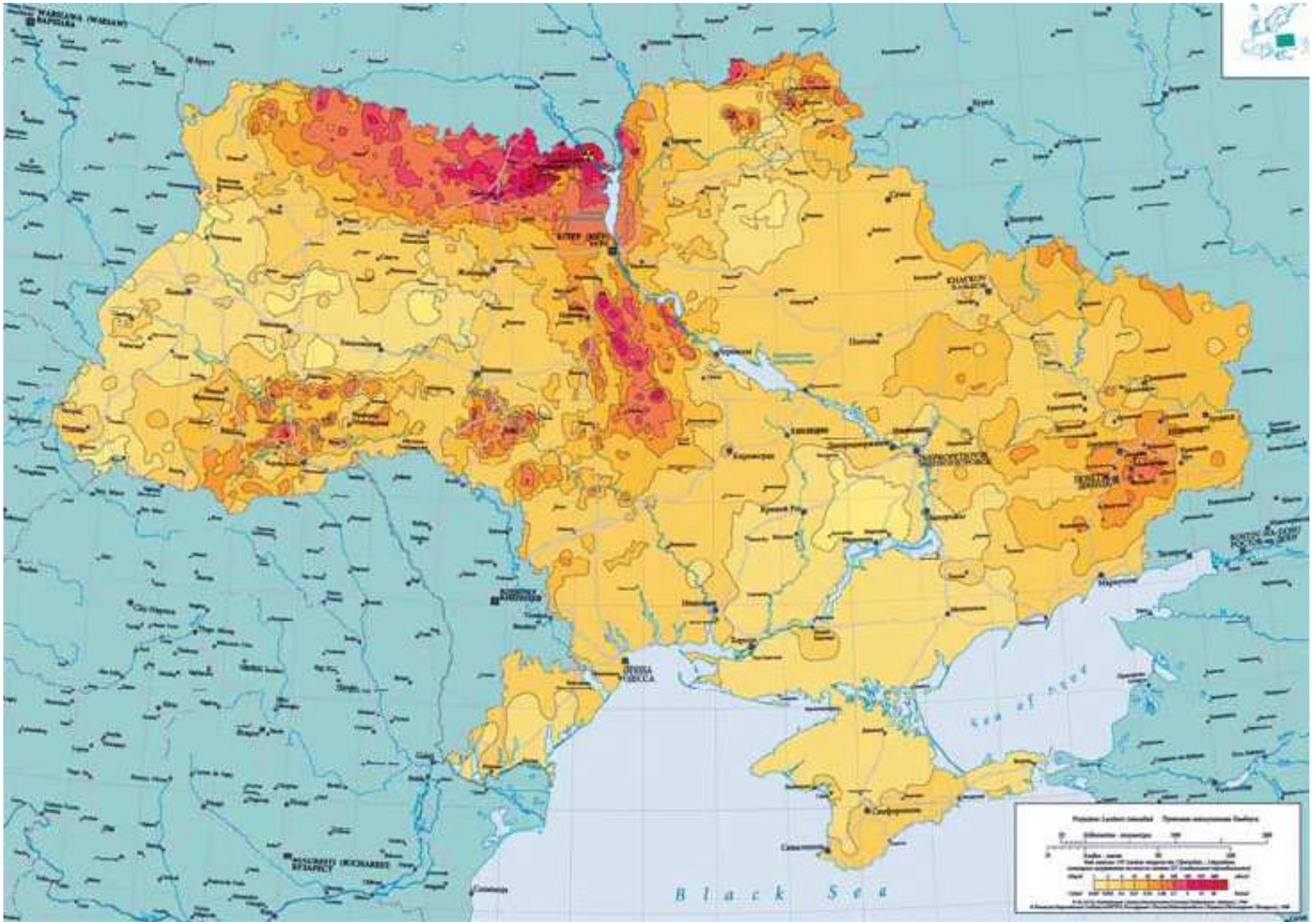
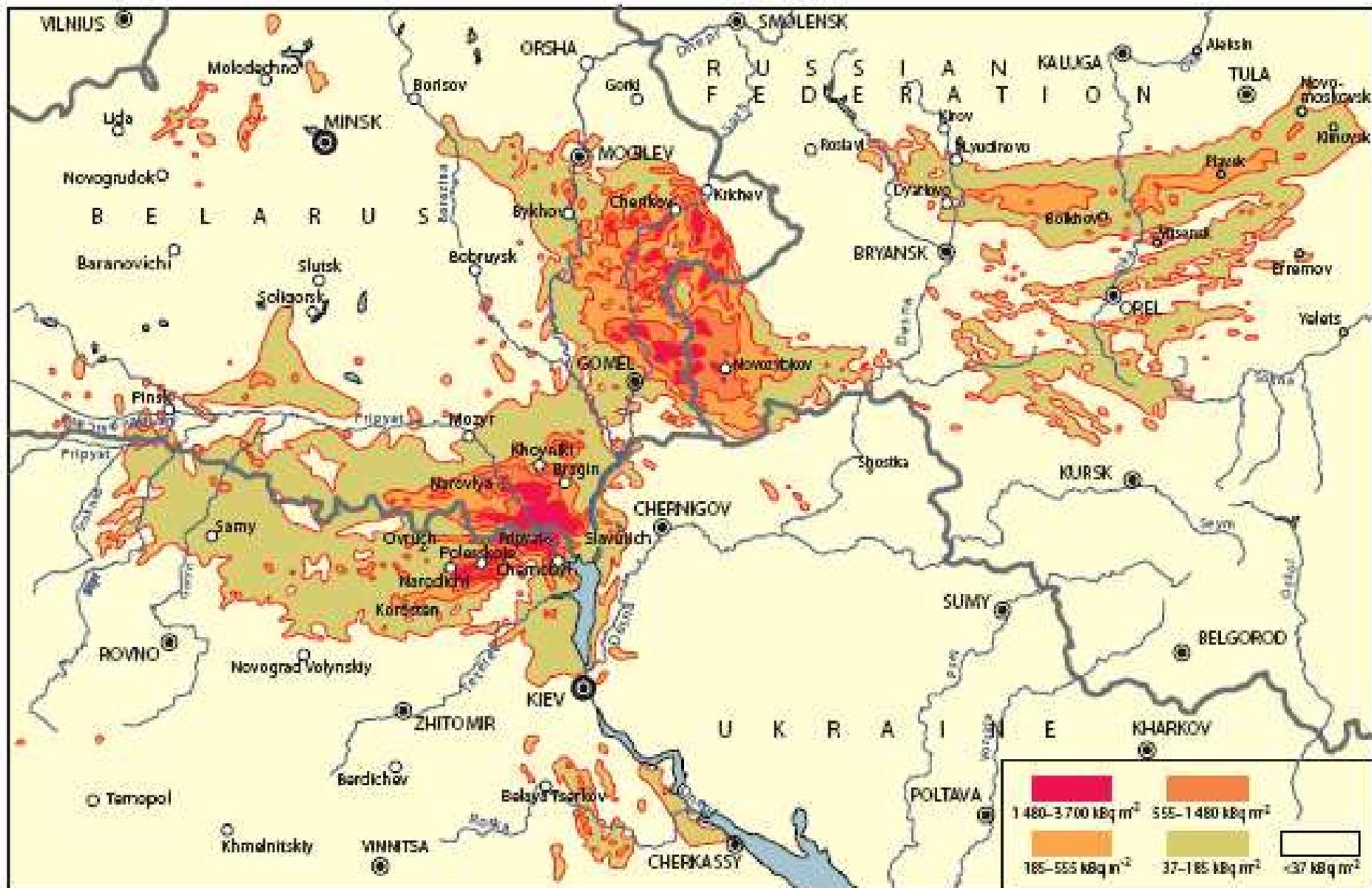


Figure II. Map of <sup>137</sup>Cs deposition levels in Belarus, the Russian Federation and Ukraine as of December 1989 [128]



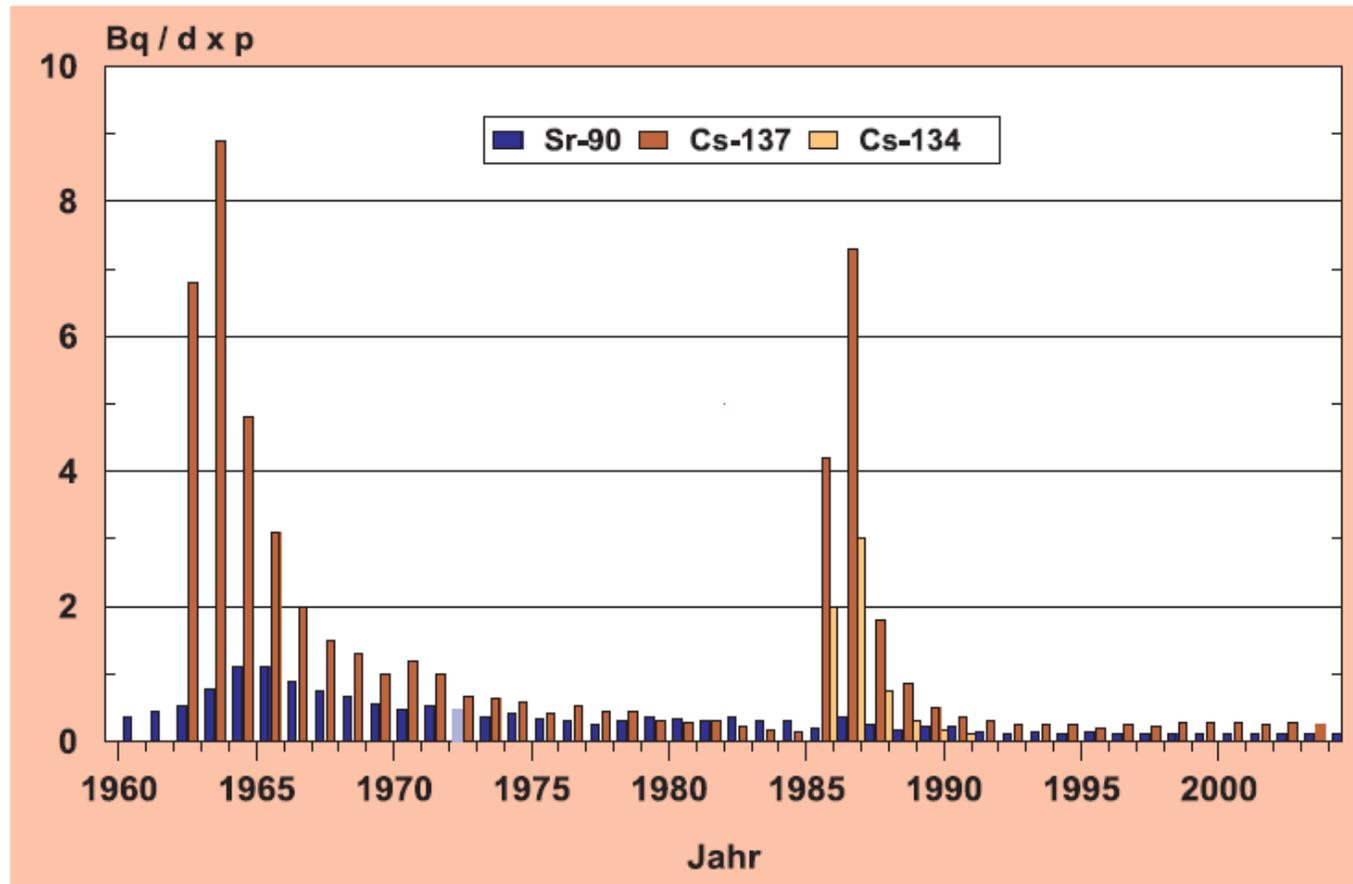
Vergleich der Kollektivdosis nach Tschernobyl mit der Kollektivdosis durch atmosphärische Atombombentests in den 1950er und 1960er Jahren

**Table 5.6 Committed Collective Doses from Man-Made Radionuclide Releases**

<b>Release</b>	<b>Collective Effective dose person Sv</b>
Atomic test bombs (in atmosphere) 1950s and 1960s	30,000,000
Chernobyl accident USSR 1986	600,000
Nuclear power production (to 1995)	400,000
Radioisotope production and use (to 1995)	80,000
Nuclear weapons fabrication (to 1995)	60,000
Kyshtym accident USSR 1957	2,500
Windscale accident UK 1957	2,000

source: Bennett (1996)

## Tägliche Zufuhr von Cs-137, Cs-134 und Sr-90 mit der Nahrung pro Kopf in Deutschland



Tägliche Zufuhr von Cs-137, Cs-134 und Sr-90 mit der Gesamtnahrung in Bq pro Person und Tag

## Categories of people exposed

from TORCH 2016 Report (FoE Austria)

- About **530,000 clean-up workers** (liquidators) sent into the Chernobyl exclusion zone for decontamination work, sarcophagus construction, and other clean-up operations between 1986 and 1989. Average dose ~100 mSv
- About **115,000 evacuees** who were evacuated within two weeks of the accident and 16,000 more before the autumn of 1986. Average dose 33 mSv
- About **6.4 million residents of contaminated areas** in Belarus, Ukraine and Russia. Average dose ~10 mSv
- About **100 million people who lived in in Belarus, Ukraine and Russia.** Average dose ~1.3 mSv
- Approximately **500 million living in the rest of Europe.** Average dose 0.3 mSv

## TORCH 2016 - Executive Summary

- 5 million people in Belarus, Ukraine and Russia live in highly contaminated areas
- 400 million people in less contaminated areas
- 37 % of Chernobyl's fallout deposited on western Europe;  
42 % of western Europe contaminated
- 40,000 fatal cancers predicted
- 6,000 thyroid cancer cases to date; 16,000 more expected (UNSCEAR)
- increased radiogenic leukemia, cardiovascular disease, breast cancers confirmed
- evidence of radiogenic birth defects, mental health effects and diabetes
- evidence that children in contaminated areas suffer radiogenic illnesses

# UNSCEAR 2008, Annex D

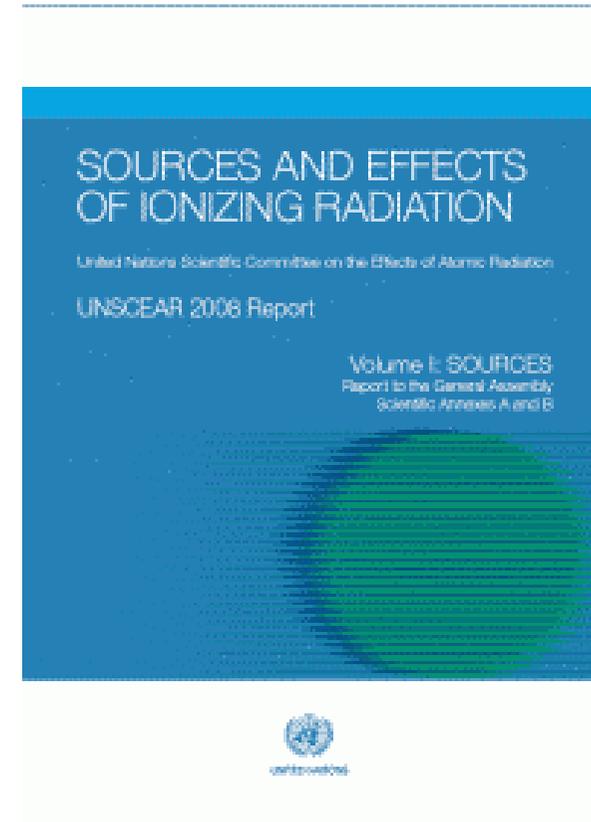
UNSCEAR=United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation  
[http://www.unscear.org/docs/reports/2008/11-80076\\_Report\\_2008\\_Annex\\_D.pdf](http://www.unscear.org/docs/reports/2008/11-80076_Report_2008_Annex_D.pdf)

## Im Fokus

- Schilddrüsenkrebs bei Kindern und Jugendlichen
- Leukämien bei Liquidatoren
- Krebs, solide Tumore
- Herz-Kreislaufkrankungen
- Katarakte

## Unberücksichtigt blieben

- Teratogene Effekte (Fehlbildungen bei Neugeborenen, Totgeburten, (frühe) Säuglingssterblichkeit)
- Genetische Effekte



## Kollektivdosis

nach UNSCEAR 2008, Table B19

Personengruppe	Personenzahl	Mittlere Dosis (mSv)	Kollektivdosis (PersSv)
Liquidatoren	530.000	117	61.200
Evakuierte	115.000	31	3.600
Belarus >1 Ci/km <sup>2</sup>	1.800.000	12	20.800
Russland >1 Ci/km <sup>2</sup>	2.500.000	7	16.900
Ukraine >1 Ci/km <sup>2</sup>	2.100.000	10	21.200
Rest v. Bel, Ukr, Rus	98.000.000	1,3	125.000
Restliches Europa	500.000.000	0,3	130,000
Dosis 1986-2005			360.000
Lebenszeit-Dosis			400,000

UNSCEAR = UN Scientific Commission on the Effects of Atomic Radiation)

## Anzahl der zu erwartenden Krebstodesfälle

**Table 6.1 Predicted Excess Cancer Deaths in Belarus, Ukraine and Russia (from lifetime exposures of 95 years)**

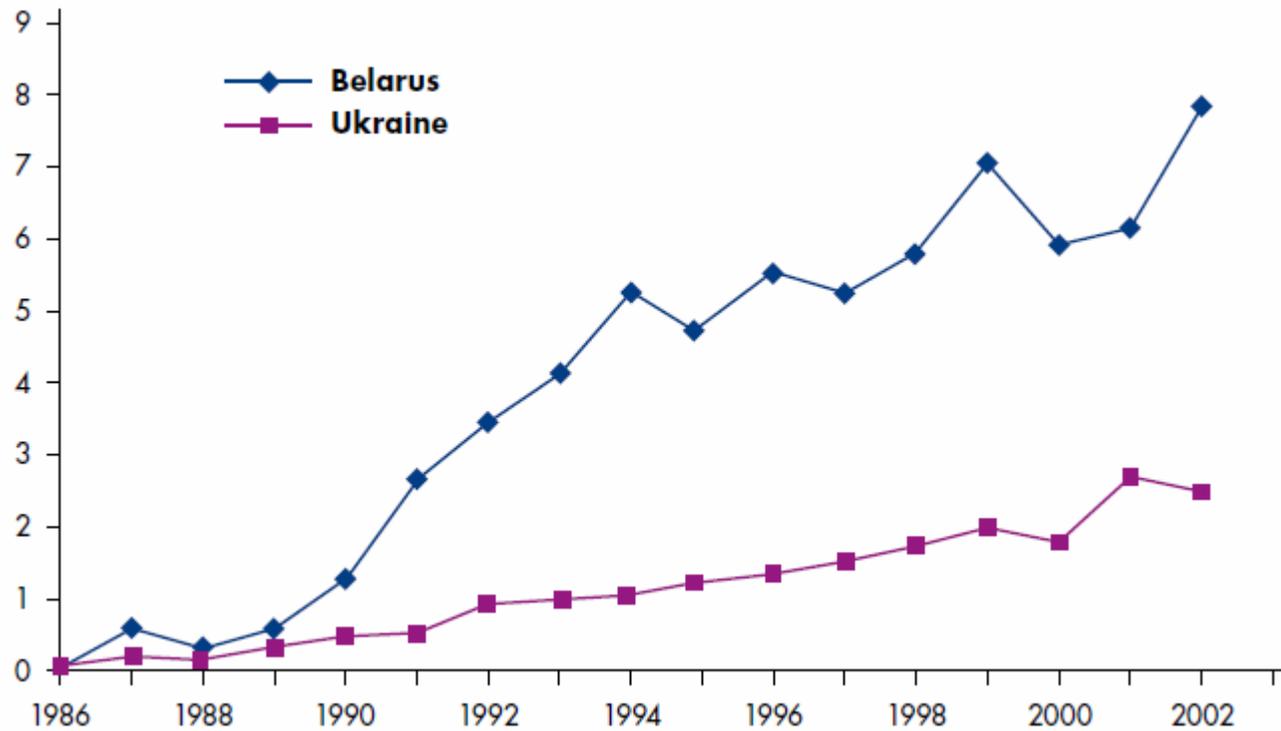
Population	Number	Average dose Sv	Cancer type	Predicted excess cancer deaths
Liquidators (1986-87)	200,000	0.1	solid cancers	2,000
			leukaemias	200
Evacuees from 30 km zone	135,000	0.01	solid cancers	150
			leukaemias	10
Residents of SCZs	270,000	0.05	solid cancers	1,500
			leukaemias	100
Residents of other contamin areas	6,800,000	0.007	solid cancers	4,600
			leukaemias	370
<b>Totals</b>	<b>7,405,000</b>			<b>8,930</b>

source: table 16.4 in IAEA/WHO (2005a)

Schätzung Tschernobyl-Forum (für „kontaminierte“ Regionen): **8.930** Krebstote

Schätzung UNSCEAR 2015 (für ganz Europa):

Kollektivdosis 400.000 PSv \* Risikofaktor 0,1/Sv → **40.000** Krebstote



Inzidenz von Schilddrüsenkrebs pro 100.000 bei Personen, die zum Zeitpunkt des Tschernobylunfalls unter 18 Jahre alt waren

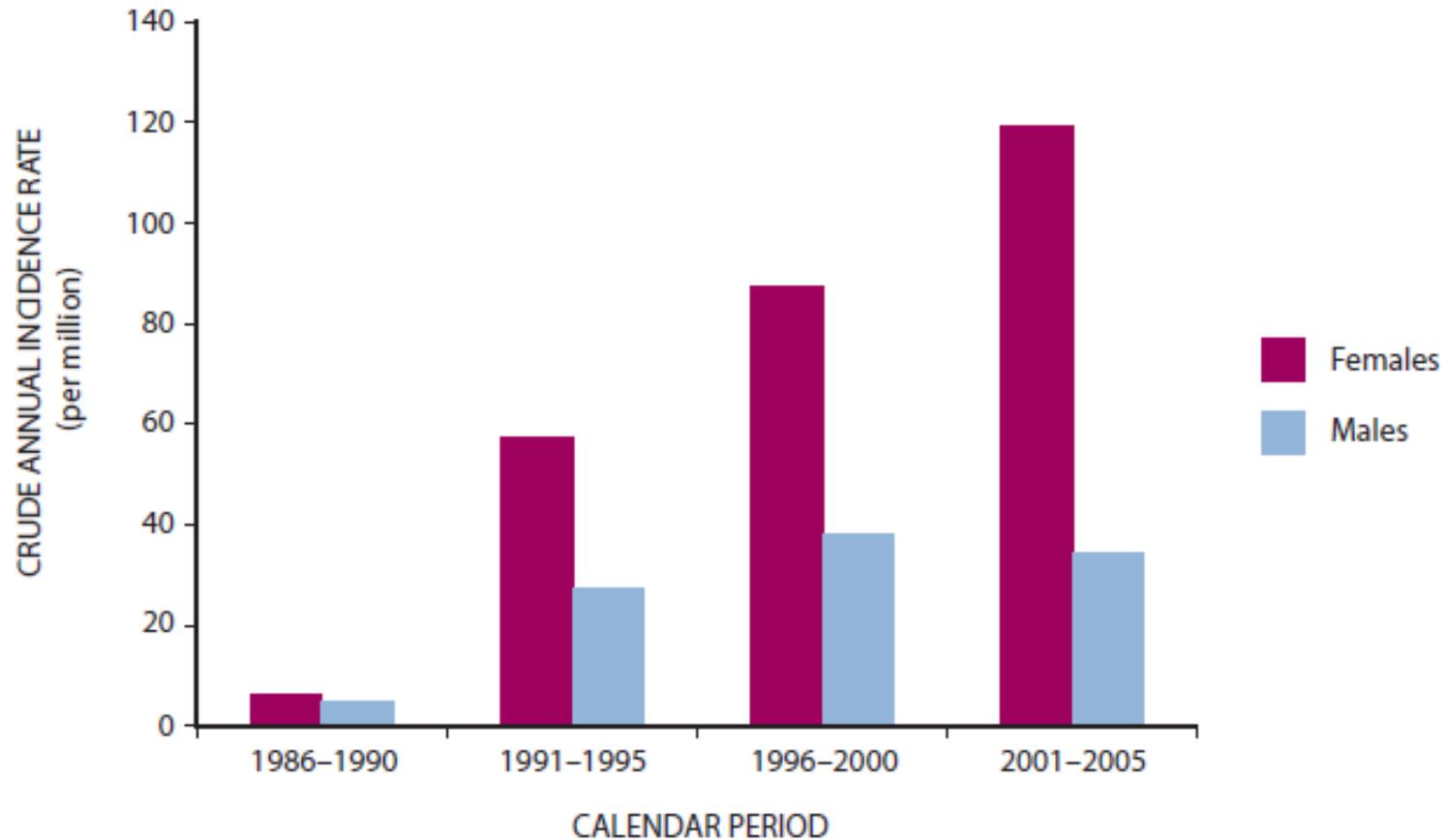
## Auszüge aus UNSCEAR 2008

- High radiation doses proved **fatal for 28 emergency workers** shortly after the accident, and 19 ARS (acute radiation syndrome) survivors have died up to 2006. Their deaths have been for various reasons, and usually **not associated with radiation exposure**
- **6,848 cases of thyroid cancer** under age 18 years in 1986 were reported between 1991 and 2005, **15 cases had proved fatal**. There is little suggestion of increased thyroid cancer incidence among those exposed as adults in the general population.
- Among those exposed in utero and as children, **no persuasive evidence** has been found of a measurable increase in the incidence **of leukaemia** attributable to radiation exposure. Some evidence exists of an increase in the incidence of **leukaemia among a group of recovery operation workers** from the Russian Federation, this is **far from conclusive**.

## Auszüge aus UNSCEAR 2008 (2)

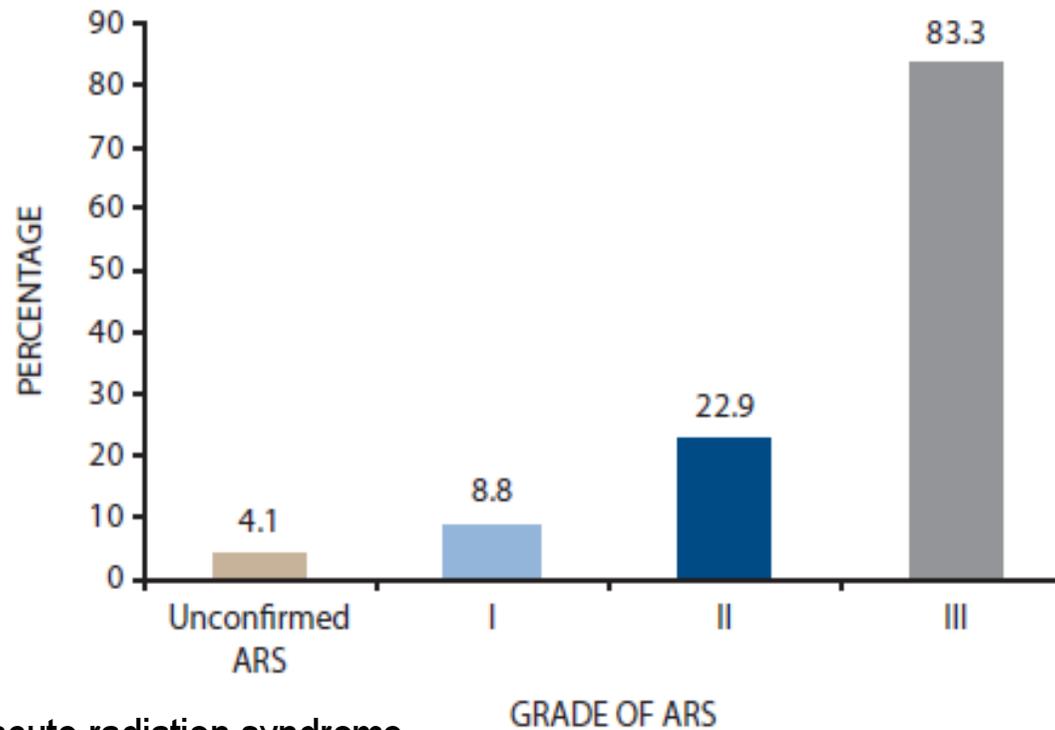
- There appears, at present, to be **no hard evidence of** any measurable increased incidence of all **solid cancers** taken together among the populations of the Russian Federation and Ukraine.
- There appears to be **no pattern of increased incidence of breast cancer** among the inhabitants of the contaminated areas compared to that among those of the uncontaminated areas.
- **More evidence is needed** to conclude whether or not radiation exposure due to the Chernobyl accident has increased the incidence of **cardiovascular and cerebrovascular disease** and associated mortality.
- The currently available epidemiological data **do not provide any basis for assuming radiogenic morbidity and mortality** with reasonable certainty in cohorts of the residents of the areas of the three republics and other countries in Europe who received total average **doses below 30 mSv over 20 years.**

**Figure IX. Thyroid cancer incidence rate among those exposed as children and adolescents (age under 18 years in 1986) in Belarus**



UNSCEAR 2008: 6,848 Fälle von Schilddrüsenkrebs wurden zwischen 1986 und 2005 in Belarus, der Ukraine and den vier am stärksten belasteten Regionen (Oblasts) von Russland registriert.

**Figure D-III. Frequency of cataracts developed by 2006 among persons with unconfirmed ARS and among graded ARS survivors: ARS-I, ARS-II and ARS-III**  
Data from URCRM [B9, B39, B42]



ARS = acute radiation syndrome

UNSCEAR 2008: To date, apart from indications of an increase in the incidence of leukaemia and cataracts among those who received higher doses, there is no evidence of health effects that can be attributed to radiation exposure

# Yablokov et al: Chernobyl - Consequences of the Catastrophe for People and the Environment

(Übersetzung aus dem Russischen: Sebastian Pflugbeil, GfS)

## Liquidatoren

- 1987 waren noch 78,2 Prozent der Liquidatoren gesund. 1996 war **der Anteil der gesunden Liquidatoren auf 15 Prozent gesunken.**
- Nach russischen Angaben sind heute über **90% der Liquidatoren Invalide**
- **Liquidatoren altern vorzeitig.** Sie erkranken überdurchschnittlich an verschiedenen Krebserkrankungen, an Leukämie, an somatischen und neurologisch-psychiatrischen Erkrankungen, ein sehr hoher Anteil hat Katarakte.
- Aufgrund der langen Latenzzeiten wird für die kommenden Jahre noch eine **erhebliche Zunahme der Krebserkrankungen erwartet.**
- Unabhängige Schätzungen gehen davon aus, dass **2005 bereits 125.000 Liquidatoren gestorben** sind.

## Yablokov (2)

### Leukämien bei Kindern

- Bei allen Leukämiearten ist das relative Risiko in belasteten Bezirken signifikant erhöht, besonders auffällig ist die **Erhöhung für die akute lymphatische Leukämie (ALL) bei Jungen**.
- Signifikant **erhöhte Leukämierate bei Kindern aus höher kontaminierten Regionen** der Ukraine in der Dosisgruppe  $> 10$  mSv (Noshchenko 2010).

## Yablokov (3)

### Fehlbildungen

- In Belorussland wurde eine erhöhte Zahl von Fehlbildungen bei 5 bis 12 Wochen alten Föten diagnostiziert, die **Fehlbildungsrate hat sich in zehn Jahren fast verdoppelt**. Insbesondere traten erhöhte Raten von Anenzephalie (Fehlen des Gehirns), Spina bifida (offenem Rücken), Lippen/Gaumenspalten, Polydaktylie (Überzahl an Fingern oder Zehen) und Verkümmern von Gliedmaßen auf.
- **Im Januar 1987 – neun Monate nach Tschernobyl** – häuften sich in Weißrussland Fälle von Trisomie 21 (**Down-Syndrom**) bei Neugeborenen. Auch in Berlin gab es im Januar 1987 12 Fälle von Trisomie 21 statt der erwarteten 2-3 Fälle pro Monat.

## Yablokov (4)

- Einer WHO-Prognose zufolge werden allein im belorussischen Gebiet Gomel mehr als **50.000 Kinder** im Laufe ihres Lebens **Schilddrüsenkrebs** bekommen. In allen Altersgruppen zusammengenommen wird man dann mit etwa **100.000 Schilddrüsenkrebsfällen im Gebiet Gomel** rechnen müssen.
- Unter den Evakuierten **sank der Anteil der gesunden Menschen** von 1987 bis 1996 **von 59 Prozent auf 18 Prozent**.
- In einer vom Tschernobylministerium der Ukraine publizierten Arbeit wurde in der Ukraine eine Vervielfachung der Erkrankungen des Endokrinen Systems (25fach von 1987 bis 1992), des Nervensystems (6fach), des Kreislaufsystems (44fach), der Verdauungsorgane (60fach), des Haut- und Unterhautgewebes (50fach), des Knochen-Muskel-Systems und der psychischen Störungen (53fach) registriert. **Zahlenmäßig überwiegen diese Nicht-Krebserkrankungen die Leukämie- und Krebserkrankungen** bei weitem.

# Leukämien bei Kindern

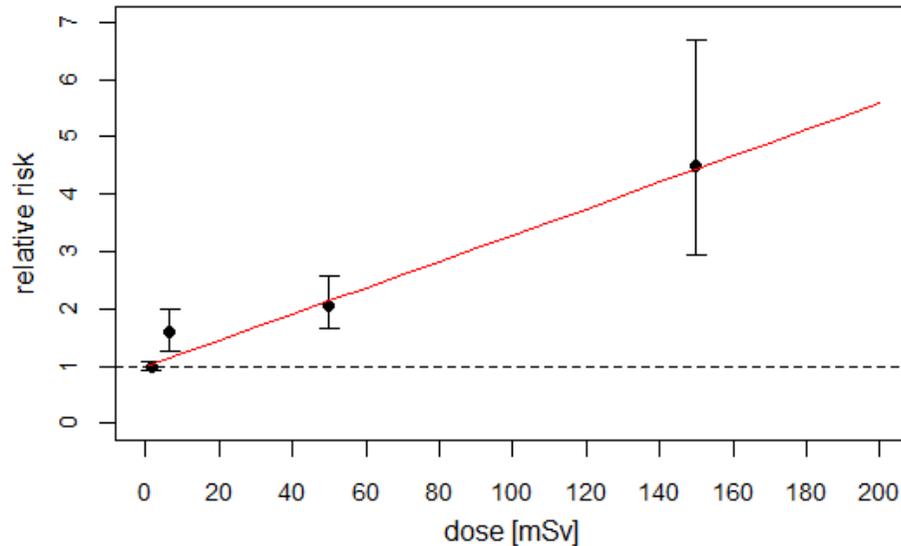
UNSCEAR 2008 (D171):

“(There is) **little convincing evidence** to suggest a measurable increase in the risk of leukaemia among those exposed as children to radiation (from Chernobyl)”

Aber:

- Eine Fall-Kontrollstudie von Noshchenko (2010) fand eine **signifikante Dosisabhängigkeit** der Leukämierate bei Kindern in höher kontaminierten Regionen der Ukraine.
- Unveröffentlichte Daten von Ivanov and Malko (2012) aus Belarus zeigen für 1987 eine hochsignifikante Erhöhung von Leukämien **bei Kindern unter einem Jahr**.

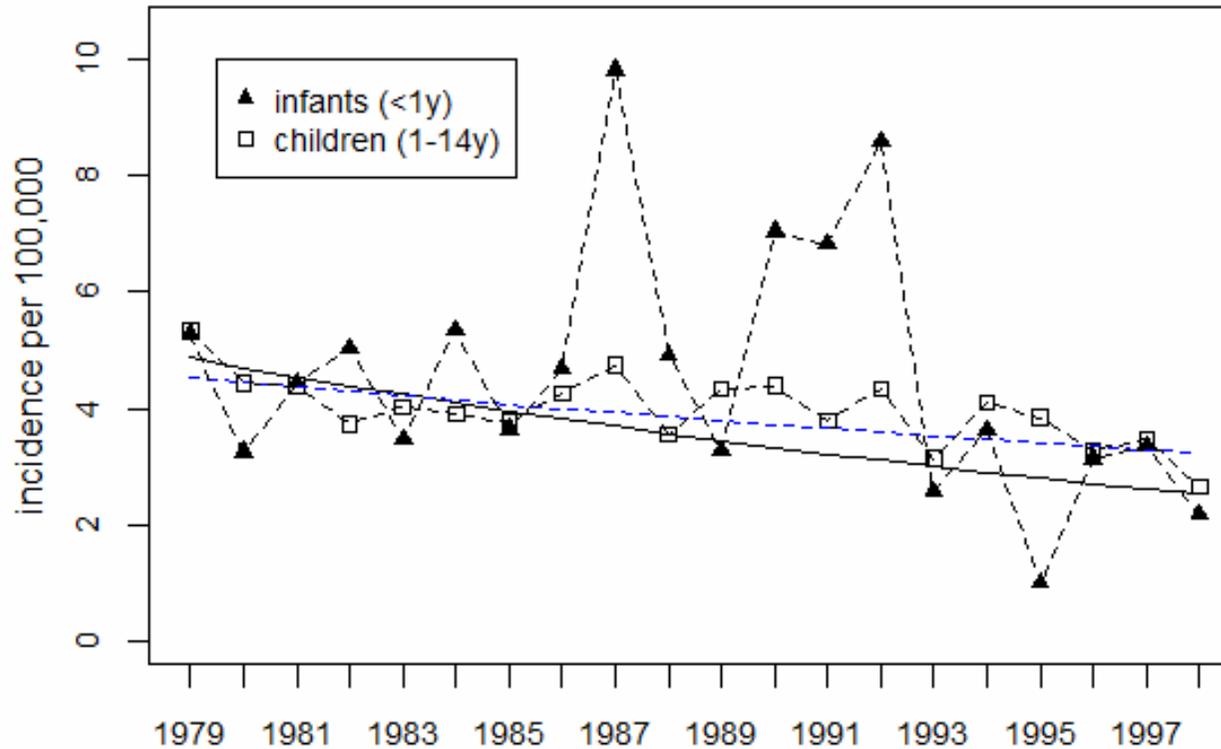
## Akute Leukämie bei Kindern in der Ukraine



Noshchenko et al (2010) studied acute leukemia during 1987-1997 among children 0–5 years old at the time of the Chernobyl accident in the most radioactively contaminated territories of the Ukraine Rivne, Zhytomyr, Chernihiv and Cherkasy regions. Four dose-groups were selected (0–2.9, 3–9.9, 10–99.9, and 100–313.3 mGy).

For doses >10 mGy, the association between radiation exposure and risk was stronger among males (OR=2.8, [1.4–5.5],  $p < 0.01$ ), and for acute leukemia diagnosed in 1987-1992 (OR=2.5 [1.2–5.1],  $p < 0.05$ ), particularly acute myeloid leukemia (OR=5.8 [1.4–24.6],  $p < 0.05$ ).

## Leukämie bei Kindern in Belarus



Hochsignifikante 2,7-fache Erhöhung bei Kindern unter 1 Jahr in 1987 und 1992

Die Leukämieraten im Zeitraum 1987-1992 wurden mit dem Trend der restlichen Jahre verglichen.  
Der Effekt ist bei Kindern im Alter von 1 bis 14 Jahren nicht signifikant (RR=1.21, p=0.069).  
(Daten übermittelt von M. Malko, Analyse durch A. Körblein)

# Gesundheitliche Folgen von Tschernobyl in Deutschland

Bundesamt für Strahlenschutz: BfS Jahresbericht 2005

- In der Erhebung bei über 5 000 Schwangeren konnten **keine Schäden bei Neugeborenen (Fehlbildungen und andere teratogene Strahlenwirkungen)** festgestellt werden
- Zahlreiche epidemiologische Studien kamen zu **widersprüchlichen Ergebnissen zu Säuglingssterblichkeit**, Häufigkeit von Fehlbildungen und Tumoren bei Kindern
- Es gibt bisher **keine Nachweise, dass in Deutschland negative gesundheitliche Strahleneffekte** durch den Tschernobyl-Unfall verursacht wurden.

## UNSCEAR zu den Stichworten „birth defects“ „pregnancy outcome“

UNSCEAR 2000 Report, Annex J, 383. Summary

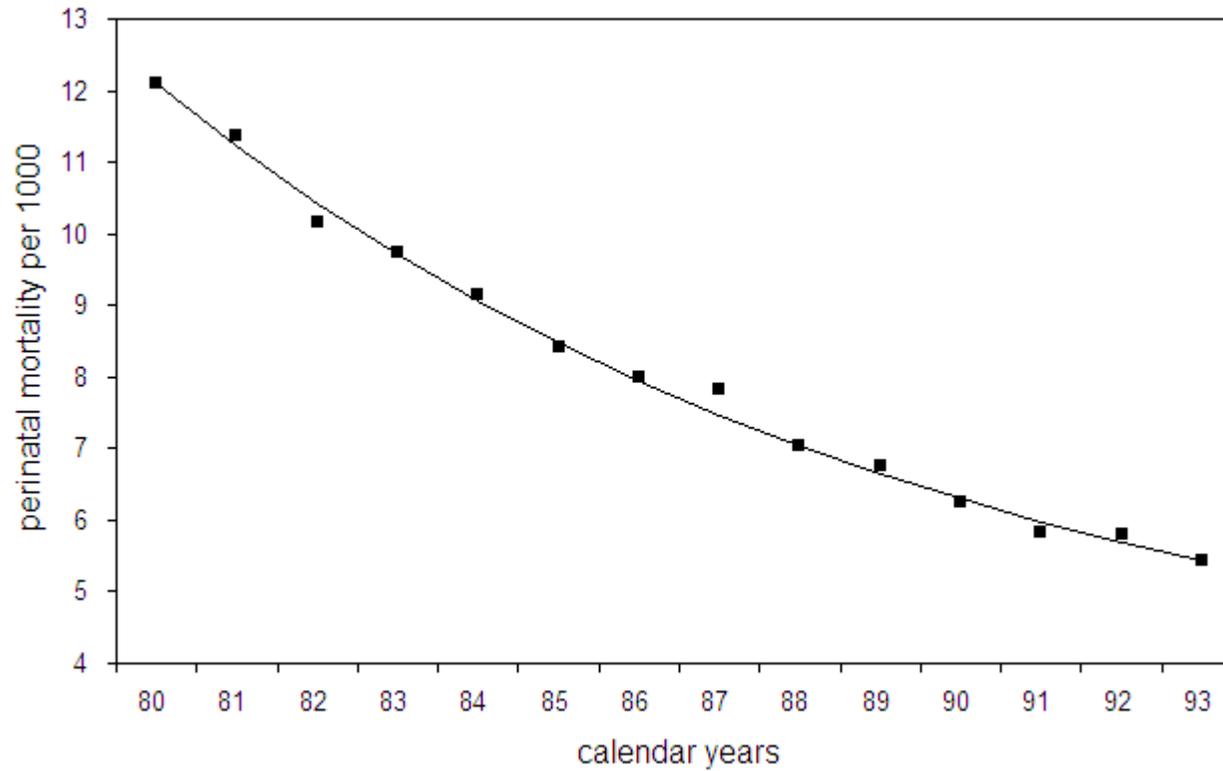
Several studies on adverse pregnancy outcomes related to the Chernobyl accident have been performed in the areas closest to the accident and in more distant regions. So far, **no increase in birth defects, congenital malformations, stillbirths, or premature births** could be linked to radiation exposures caused by the accident.

Im UNSCEAR 2008 Report, Annex D, kommt keiner der folgenden Begriffe vor:  
„pregnancy outcome“ „birth defect“ „congenital malformation“ „perinatal mortality“ „stillbirth“ „infant mortality“

## Eigene Arbeiten: Teratogene Strahleneffekte

- Perinatalsterblichkeit (Sterblichkeit von Neugeborenen):  
Totgeborene plus in den ersten 7 Lebenstagen Gestorbene
- Säuglingssterblichkeit, d.h. im ersten Lebensjahr Gestorbene
- Angeborene Fehlbildungen in Bayern
- Länder: Deutschland, Bayern, Polen, Belarus, Ukraine

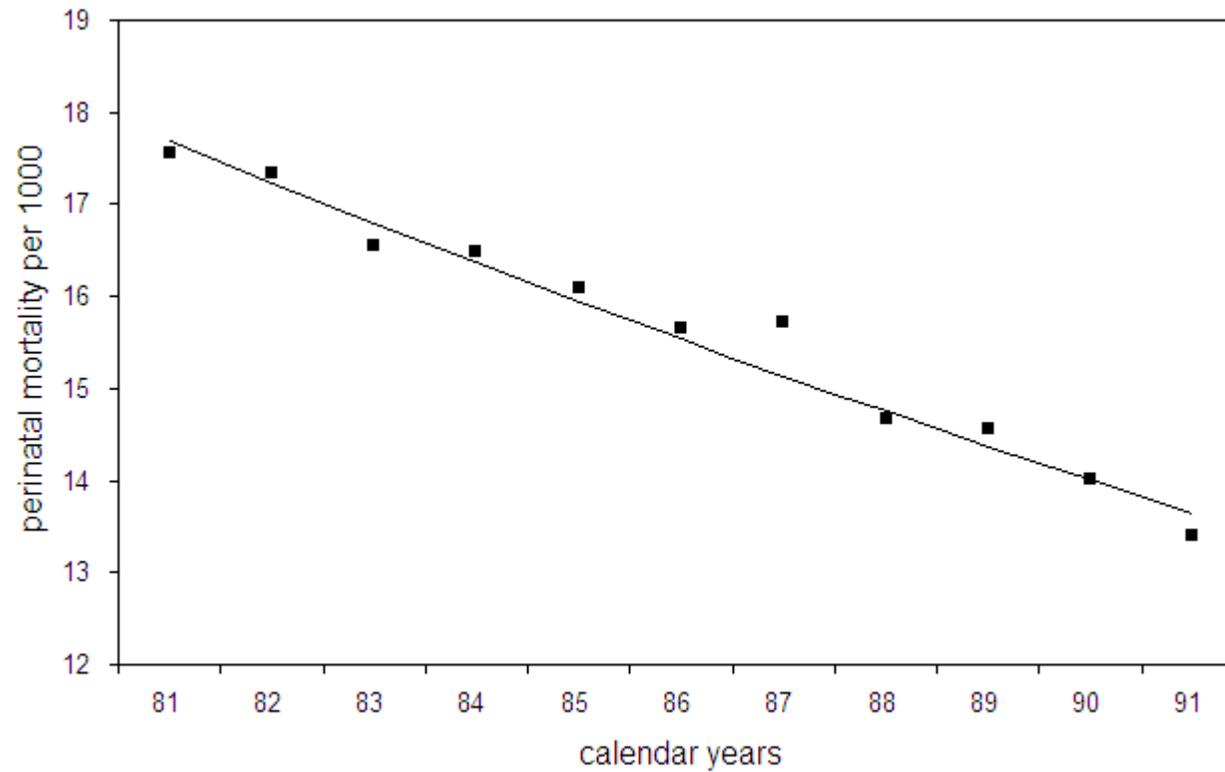
## Perinatalsterblichkeit in Deutschland



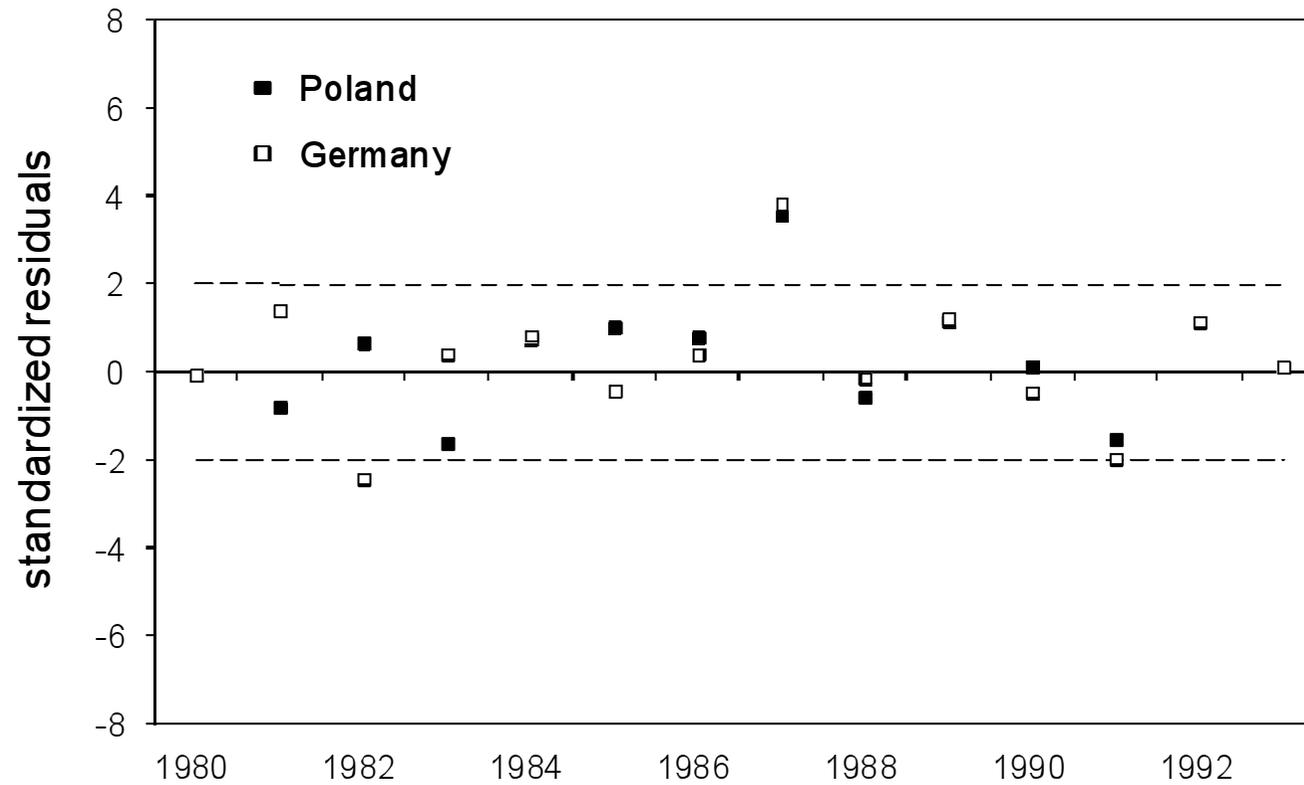
Absolute Erhöhung der Rate 1987: 0,36 per 1000; 315 zusätzliche Fälle

Körblein A, Küchenhoff H. Perinatal mortality in Germany following the Chernobyl accident. Radiat Environ Biophys. 1997 Feb;36(1):3-7

## Perinatalsterblichkeit in Polen



Absolute Erhöhung der Rate 1987: 0,57 per 1000; 356 zusätzliche Fälle



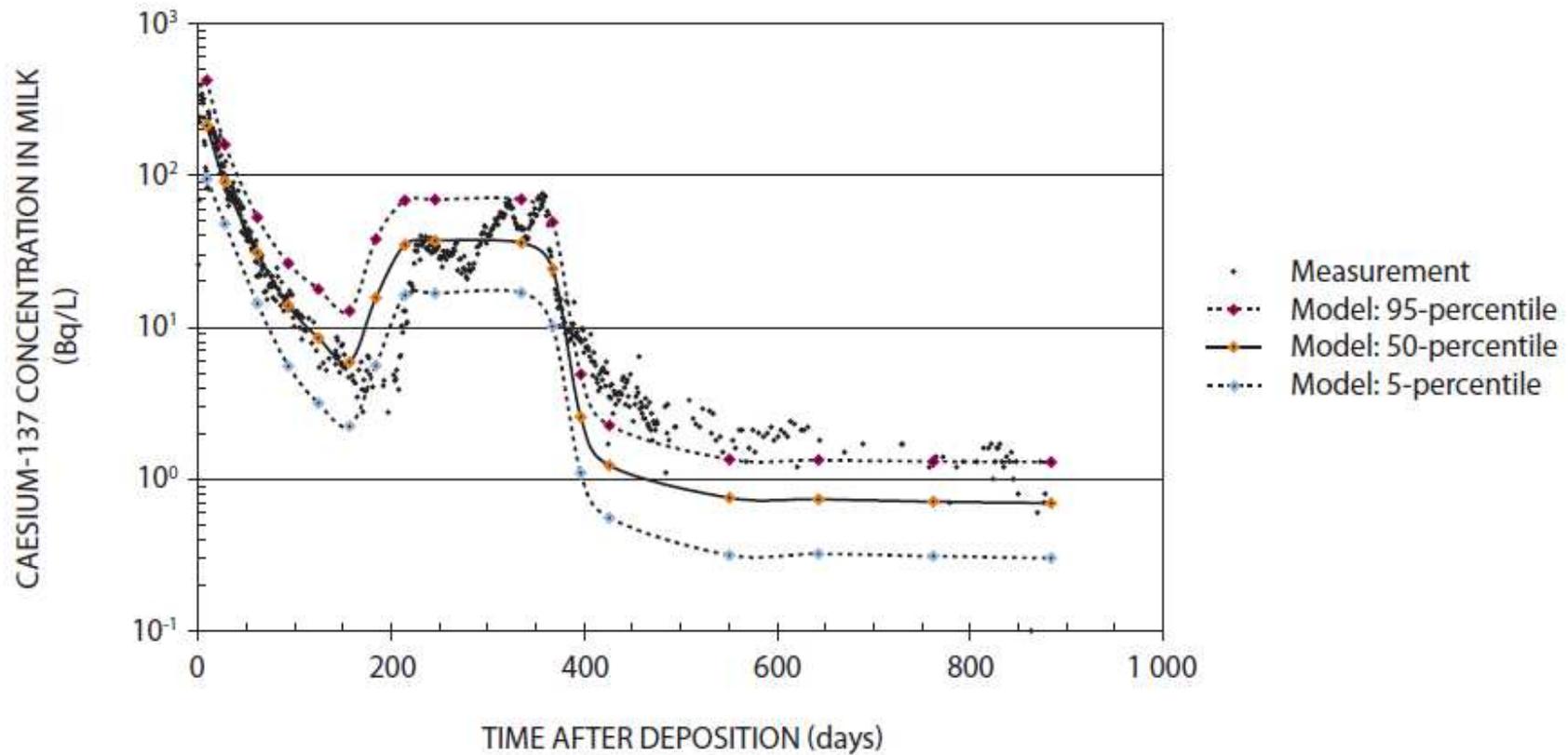
Abweichungen der beobachteten von den erwarteten Raten der Perinatalsterblichkeit.

Signifikante Erhöhung im Jahr 1987 in Deutschland ( $p=0,018$ ) und Polen ( $p=0,015$ ).

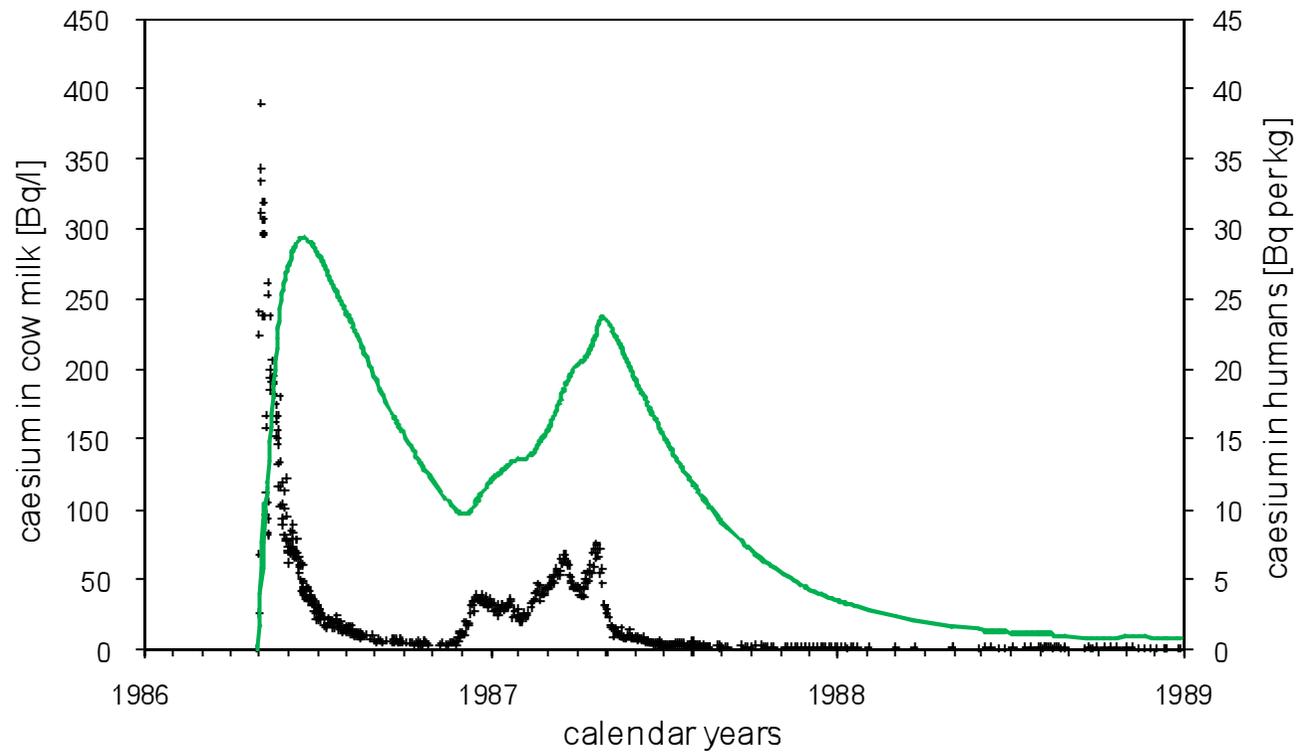
## Trendanalyse der Monatsdaten

- Logistische Regression mit linear-quadratischem zeitlichen Trend
- Saisonale Effekte müssen berücksichtigt werden  
(11 Dummyvariable für die Monate Feb bis Dez, Jan ist Referenzmonat)
- Zeitlicher Verlauf der Cäsiumbelastung von Schwangeren wird berechnet aus der Konzentration von Cäsium in Kuhmilch und der biologischen Halbwertszeit.
- Für die Abhängigkeit der Perinatalsterblichkeit von der Cäsiumbelastung wird ein linear-quadratischer Ansatz verwendet. Damit wird die Form der Dosis-Wirkungsbeziehung aus den Daten ermittelt.

Figure A-IX. The activity concentrations of  $^{137}\text{Cs}$  in cow milk near Munich following the Chernobyl accident as observed and as simulated by the ECOSYS-87 model [M9]



From: UNCEAR 2008, Annex D, page 95

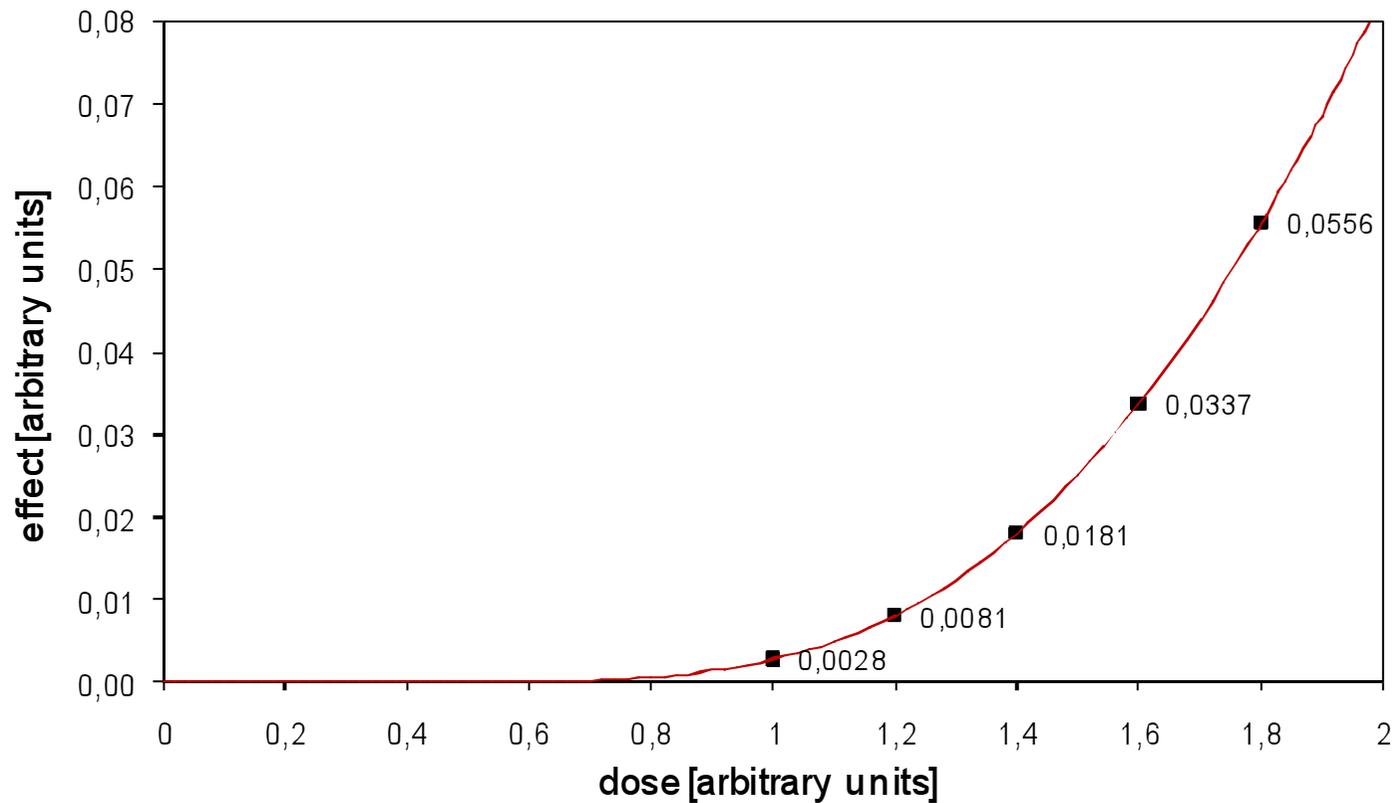


Messwerte der Cäsium-137 Konzentration in Kuhmilch und berechnete **Cäsiumbelastung** der Schwangeren (biologische Halbwertszeit: 70 Tage)

# Strahlenwirkung

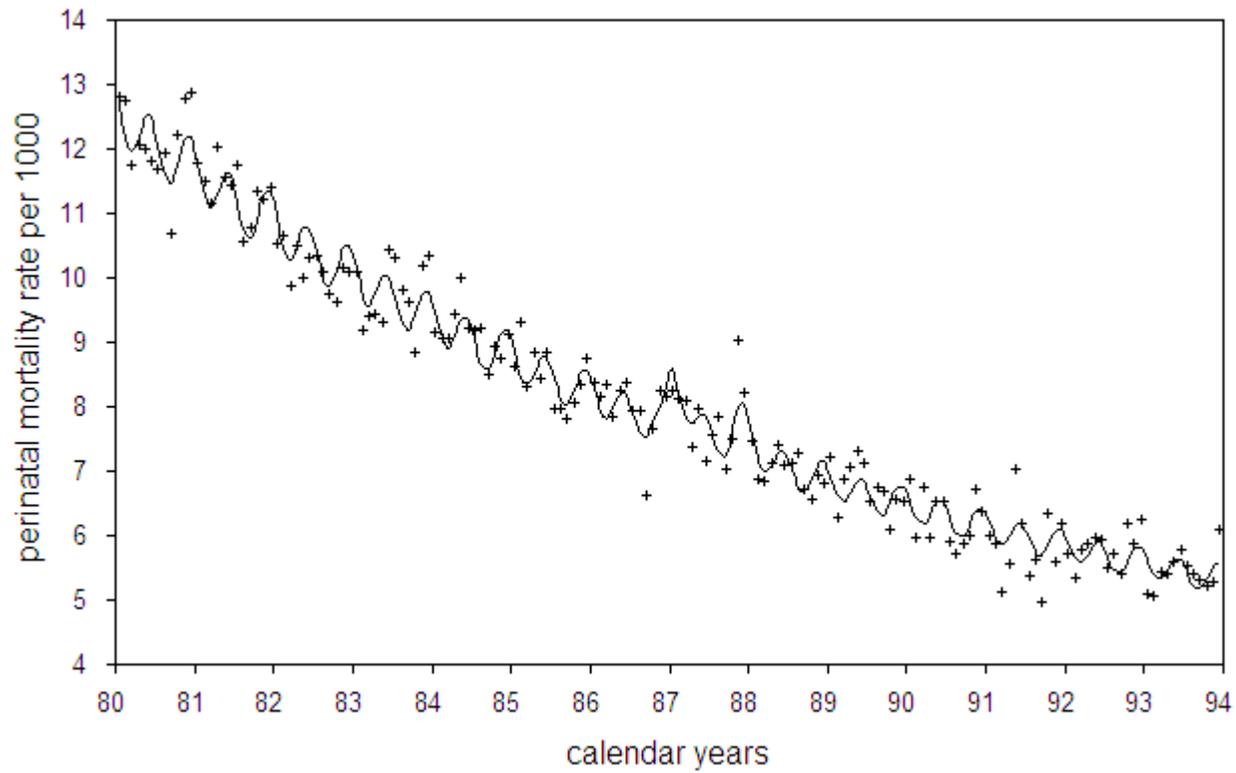


Dosis-Wirkungsbeziehung für stochastische und teratogene Effekte  
[http://gd1.med.uni-giessen.de/ugm\\_2/deu/ugi\\_nuk/PDF/Rad\\_V2\\_Strahlentherapie.pdf](http://gd1.med.uni-giessen.de/ugm_2/deu/ugi_nuk/PDF/Rad_V2_Strahlentherapie.pdf)



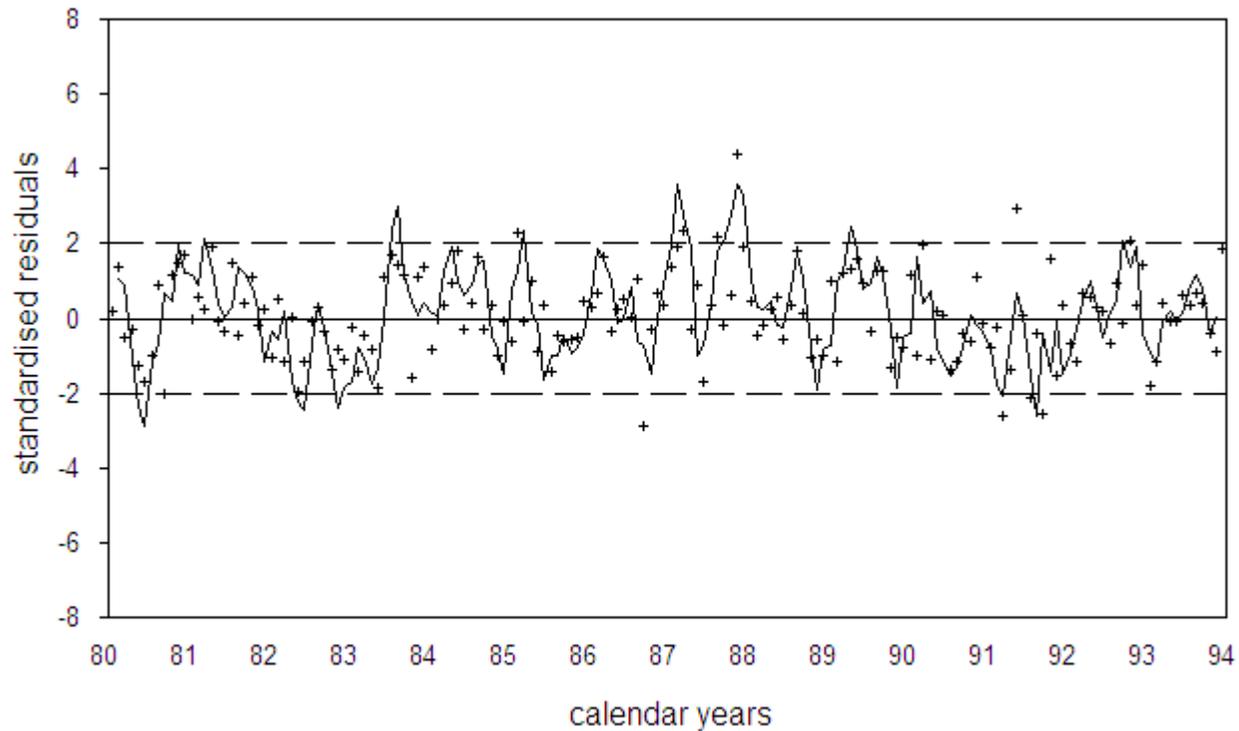
Berechnete Werte des Strahlenrisikos in Abhängigkeit vom Median der Dosis unter der Annahme, dass sowohl die Strahlendosis als auch die Strahlenempfindlichkeit in der exponierten Bevölkerung lognormalverteilt sind. **Rote Linie:** Ergebnis einer Regression mit einer Lognormalverteilung.

## Perinatalsterblichkeit in Deutschland

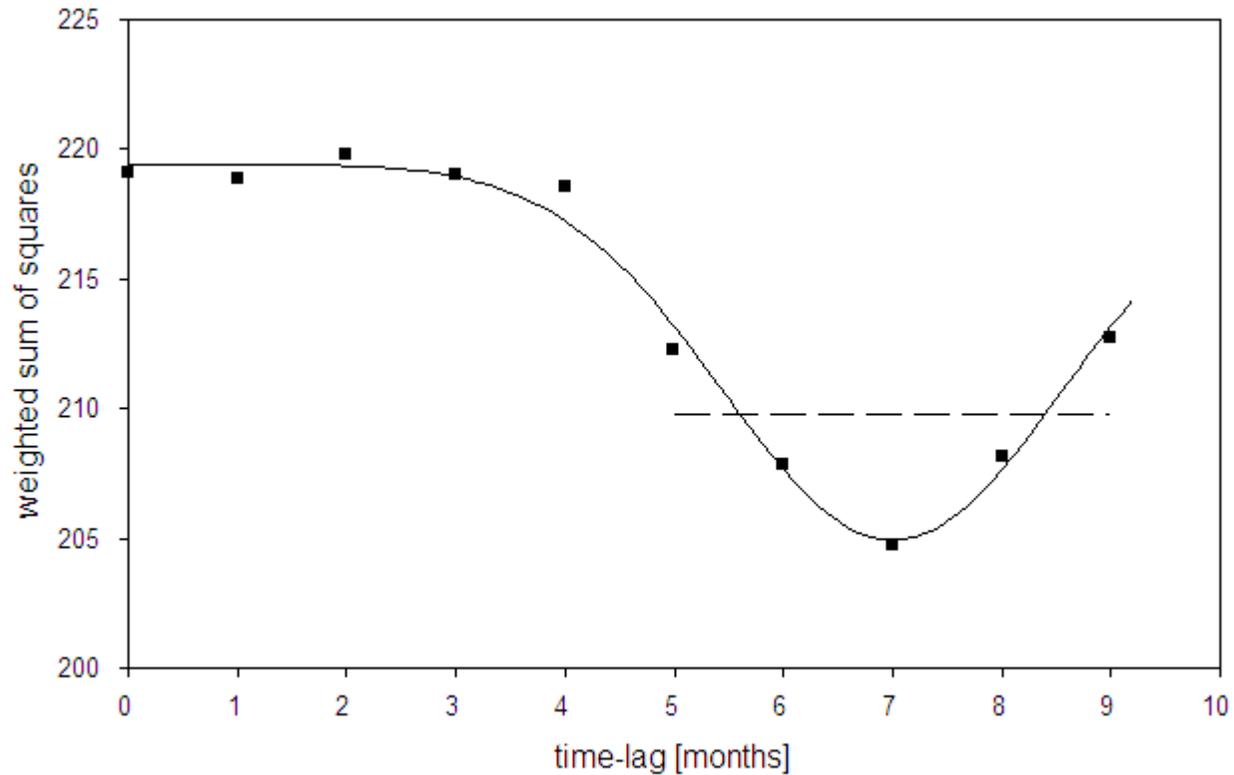


Monatsdaten und langjähriger Trend mit saisonalen Schwankungen

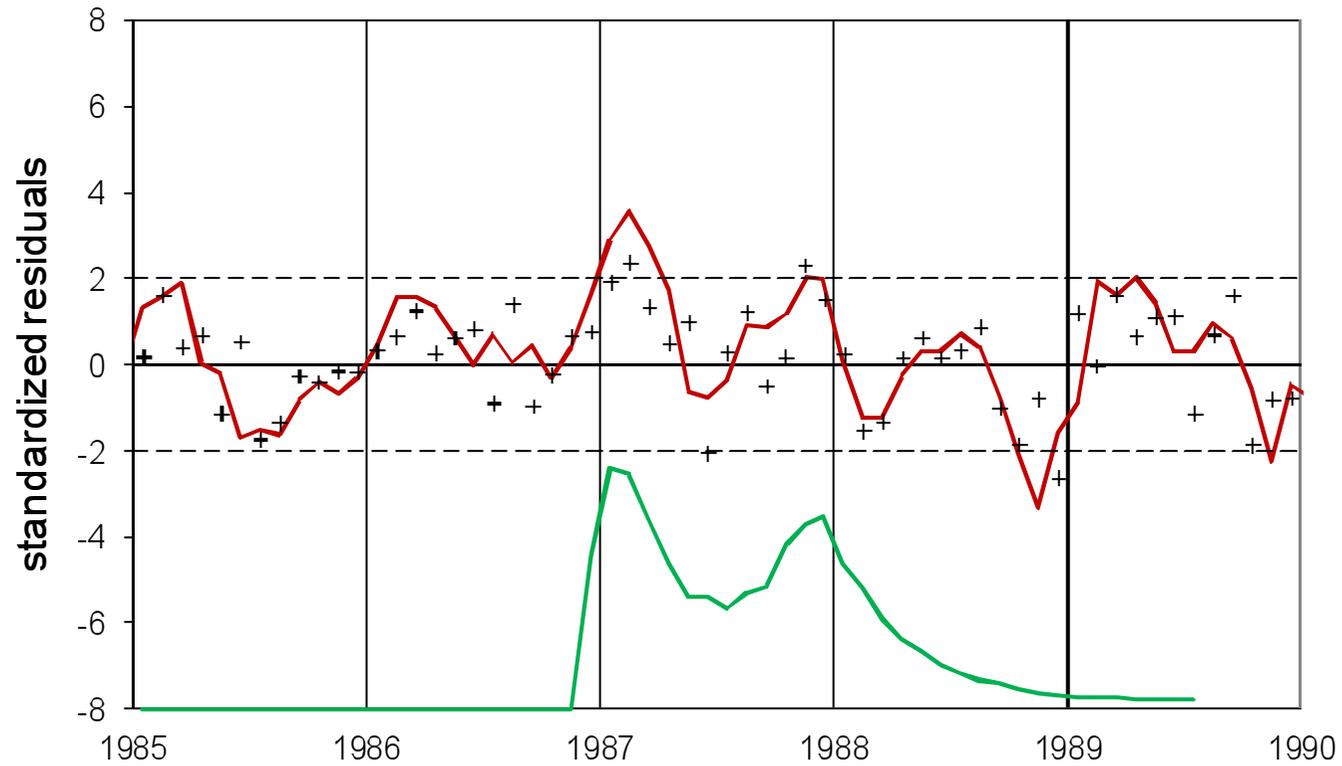
## Perinatalsterblichkeit in Deutschland



Abweichungen der beobachteten von den erwarteten Raten der Perinatalsterblichkeit (standardized residuals) und gleitender Dreimonats-Mittelwert



Summe der Fehlerquadrate bei Regressionen mit unterschiedlicher Verzögerung (Monate) zwischen Cäsiumbelastung der Schwangeren und den Monatsdaten der Perinatalsterblichkeit. Die beste Anpassung errechnet sich für 7 (95% CI: 5,5 bis 8,5) Monate.

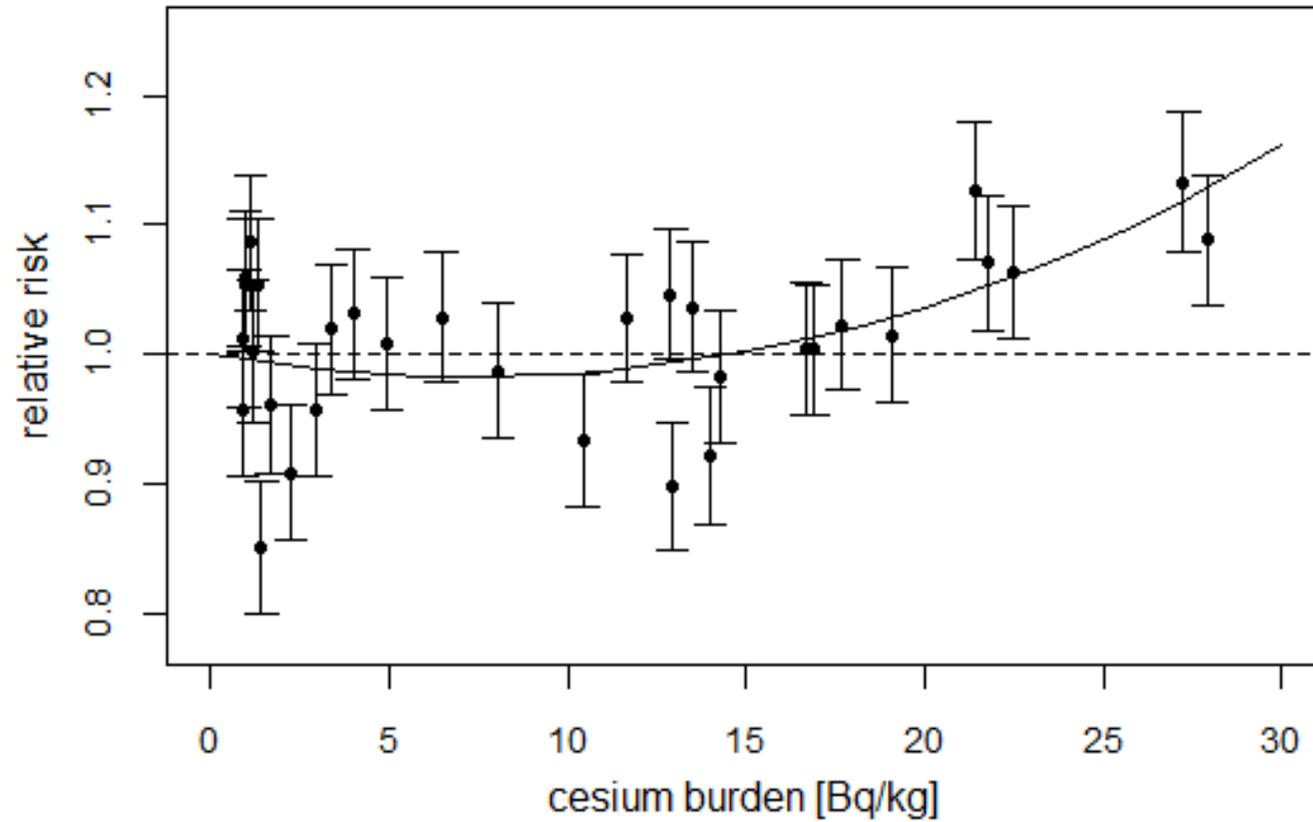


Residuen der Perinatalsterblichkeit in **Westdeutschland**

und gleitender Dreimonats-Mittelwert (**rote Linie**)

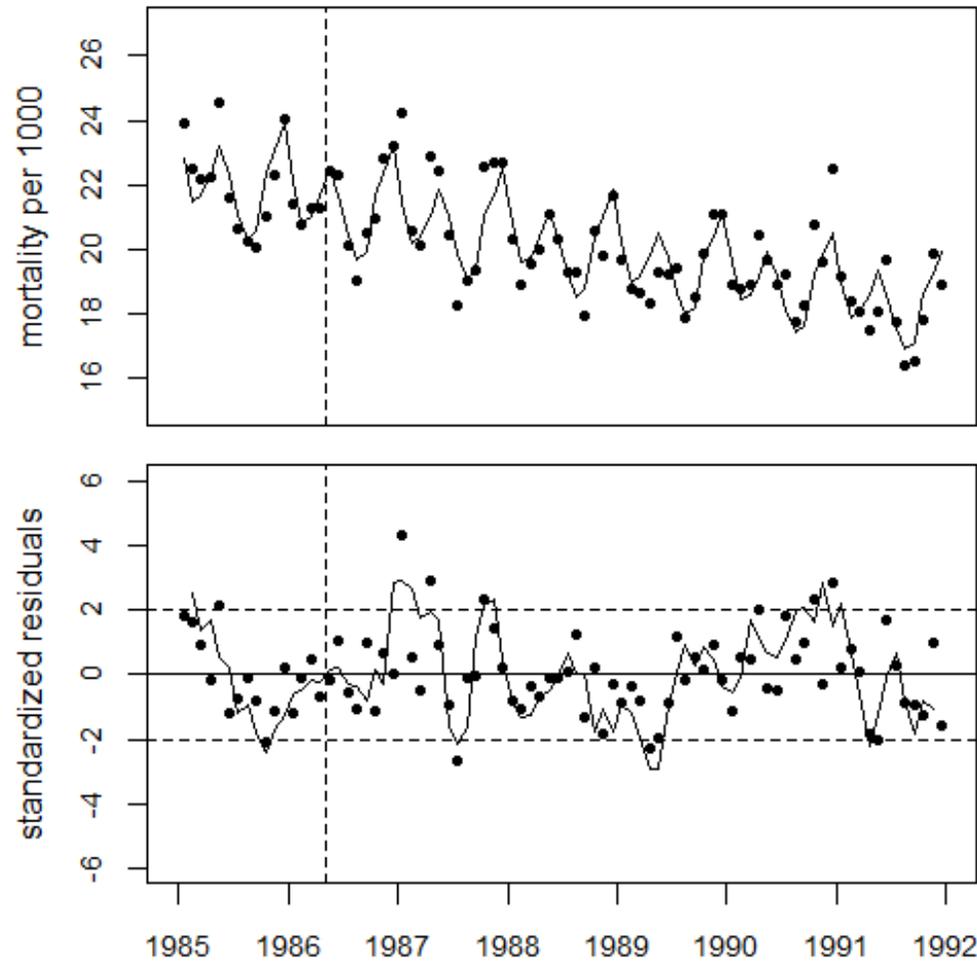
Darunter: **Cäsiumbelastung** von Schwangeren, um 7 Monate verschoben

## Dosis-Wirkungsbeziehung



Abweichungen der Perinatalsterblichkeit in Deutschland vom Erwartungswert, in Abhängigkeit von der Cäsiumbelastung der Schwangeren, und Regressionslinie

## Säuglingssterblichkeit in Polen

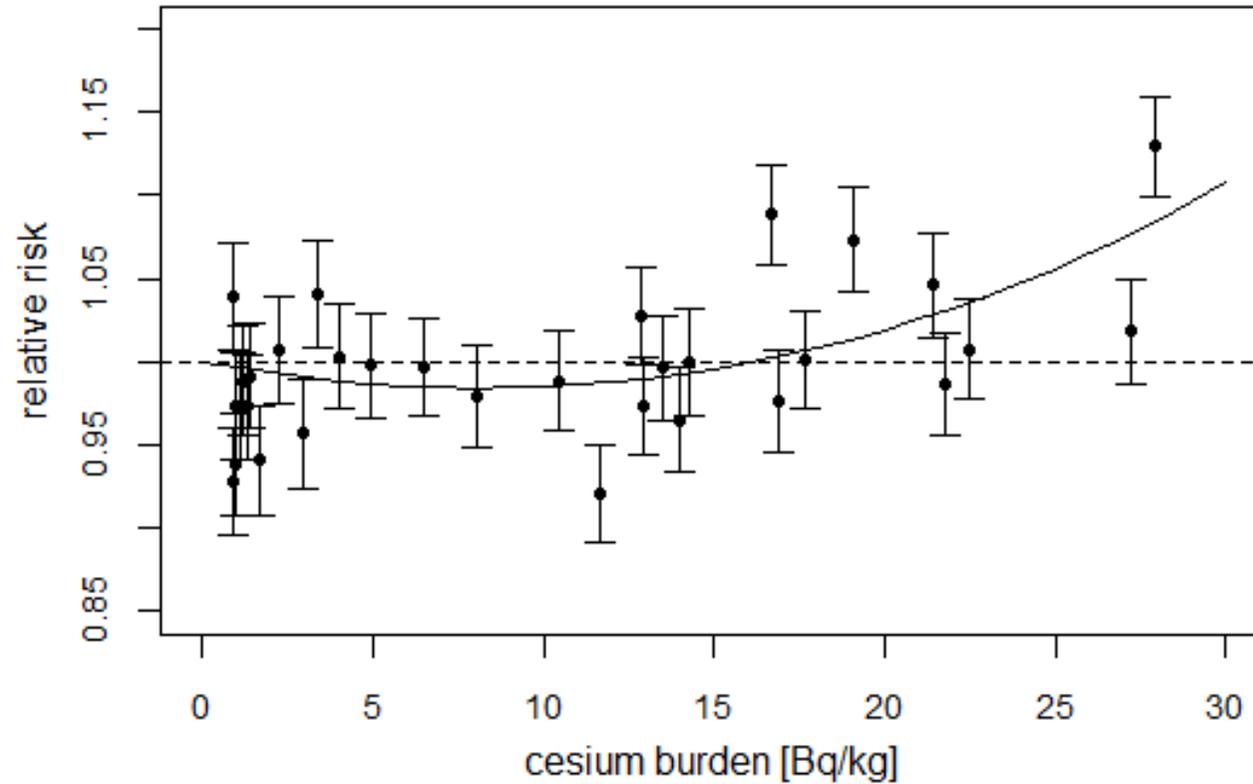


Säuglingssterblichkeit in Polen  
und Trendlinie mit saisonalen  
Schwankungen

Unten:  
Residuen der Säuglingssterblichkeit  
und gleitender Dreimonats-Mittelwert

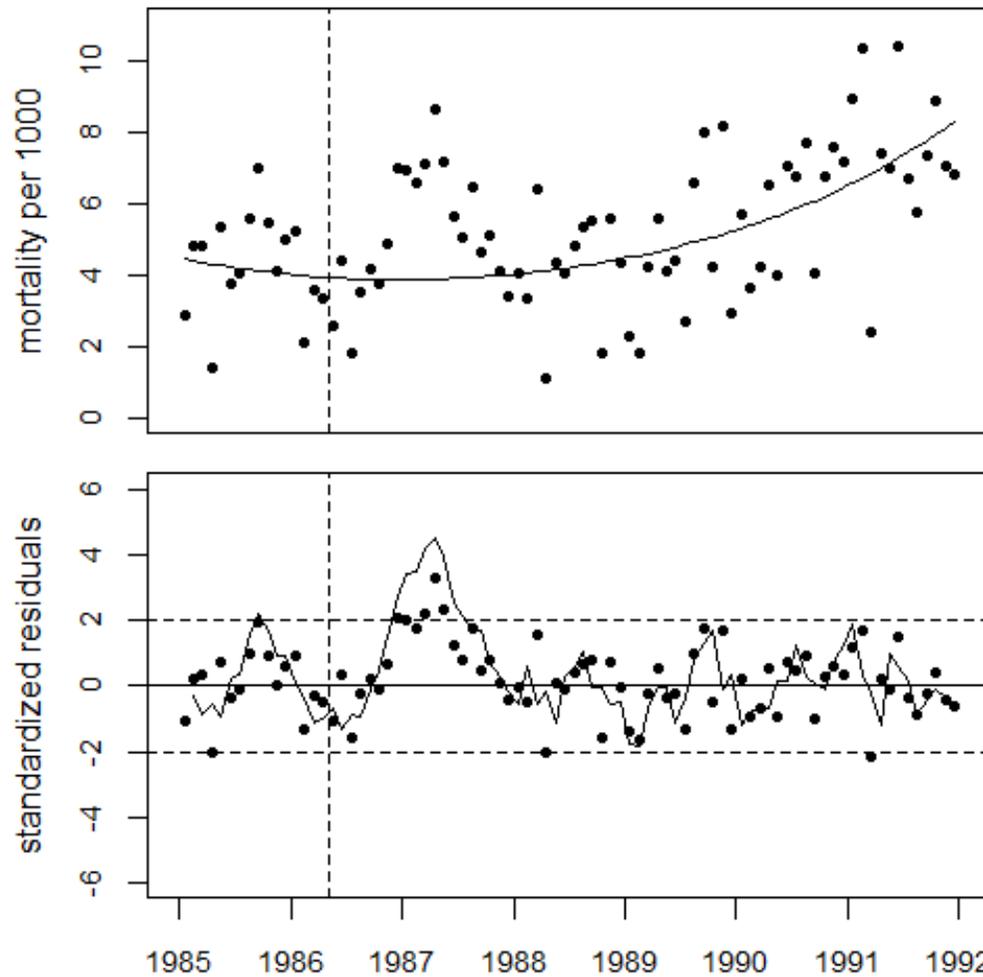
Peaks im Januar , April, November 1987

## Dosisabhängigkeit



Abweichungen der Säuglingssterblichkeit in Polen vom Erwartungswert, in Abhängigkeit von der Cäsiumbelastung der Schwangeren, und Regressionslinie

## Frühe neonatale Sterblichkeit im Oblast Zhytomyr, Ukraine



Monatswerte der frühen neonatalen Sterblichkeit und Trendlinie

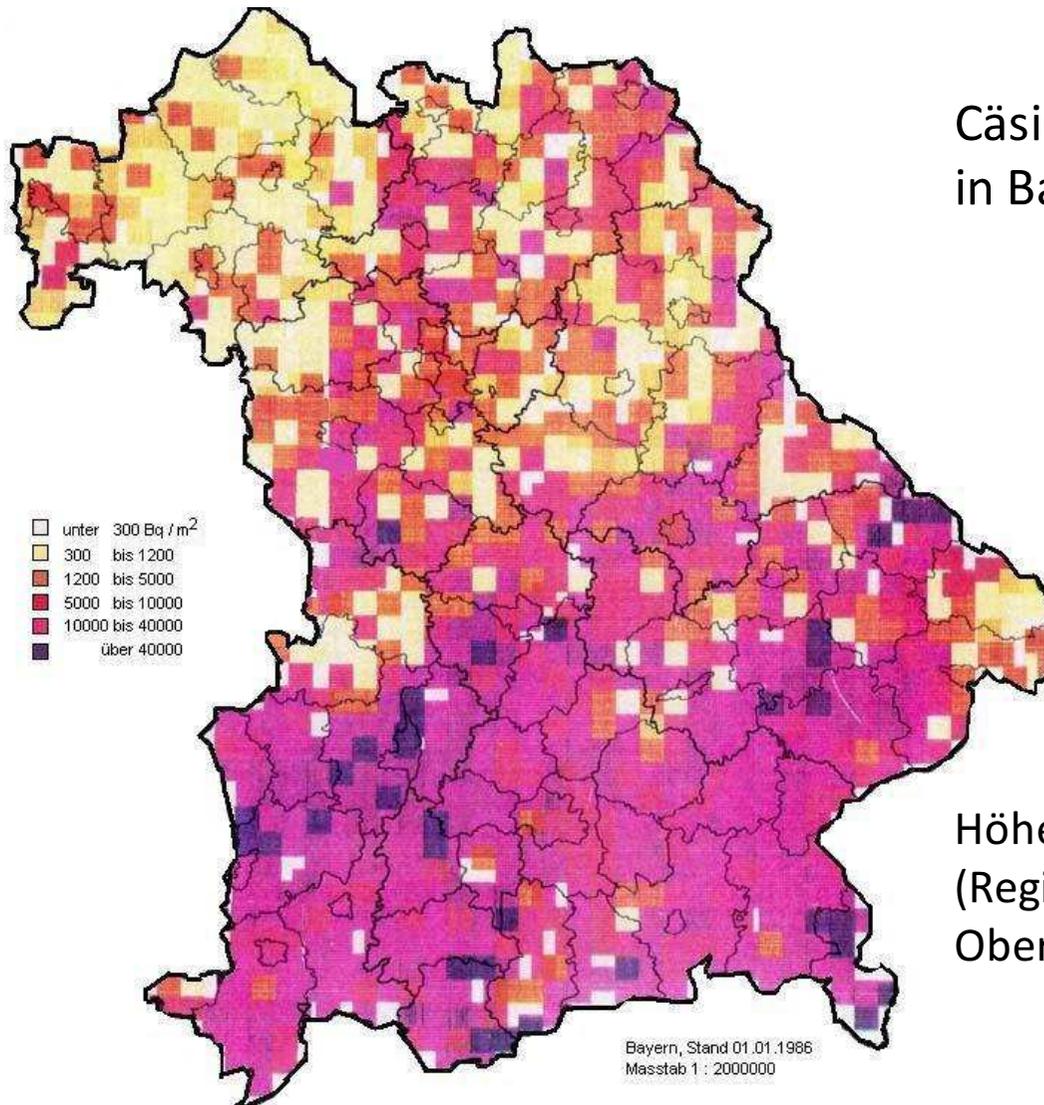
Abweichungen der beobachteten von den erwarteten Raten (standardized residuals) und gleitender Dreimonats-Mittelwert

Maximum im April 1987

## Angeborene Fehlbildungen in Bayern

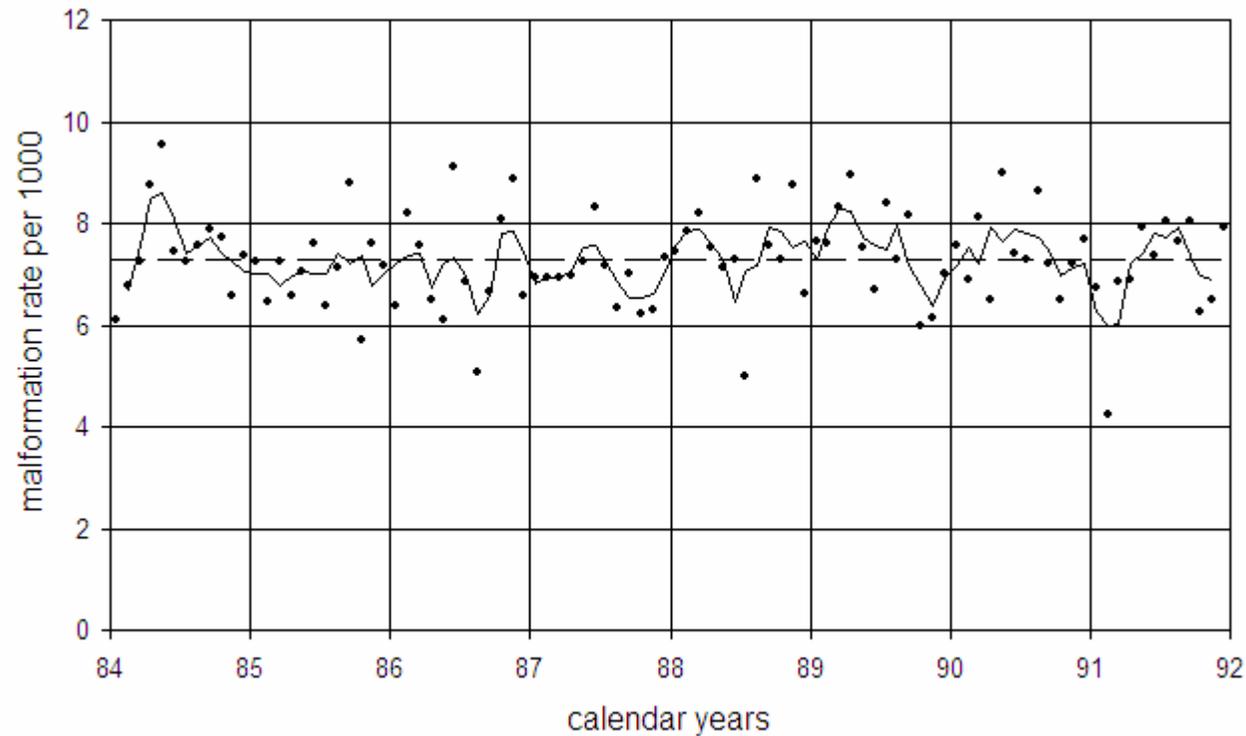
- Sept 1994:  
Studie zu angeborenen Fehlbildungen in Bayern, durchgeführt vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) im Auftrag des bayerischen Umweltministeriums. Die Daten wurden nachträglich für 1984-91 an bayerischen Kinderkliniken erhoben.
- Folgende Diagnosen wurden für die Auswertung verwendet:
  - Neuralrohrdefekte
  - Anophtalamus, Microphtalamus, Katarakte
  - Anomalien der Gliedmaßen
  - Lippen-/Gaumenspalten
  - Atresie des Magen-Darmtrakts
  - Anomalien des Herzens und der Bauchdecke
  - Zwerchfellhernie
- Getrennt ausgewertet wurden Fehlbildungen genetischen Ursprungs:  
Trisomy 21, multiple Fehlbildungen

## Cäsium-137 Bodenkontamination in Bayern



Höhere Cäsiumbelastung in Südbayern  
(Regierungsbezirke Schwaben,  
Oberbayern, Niederbayern)

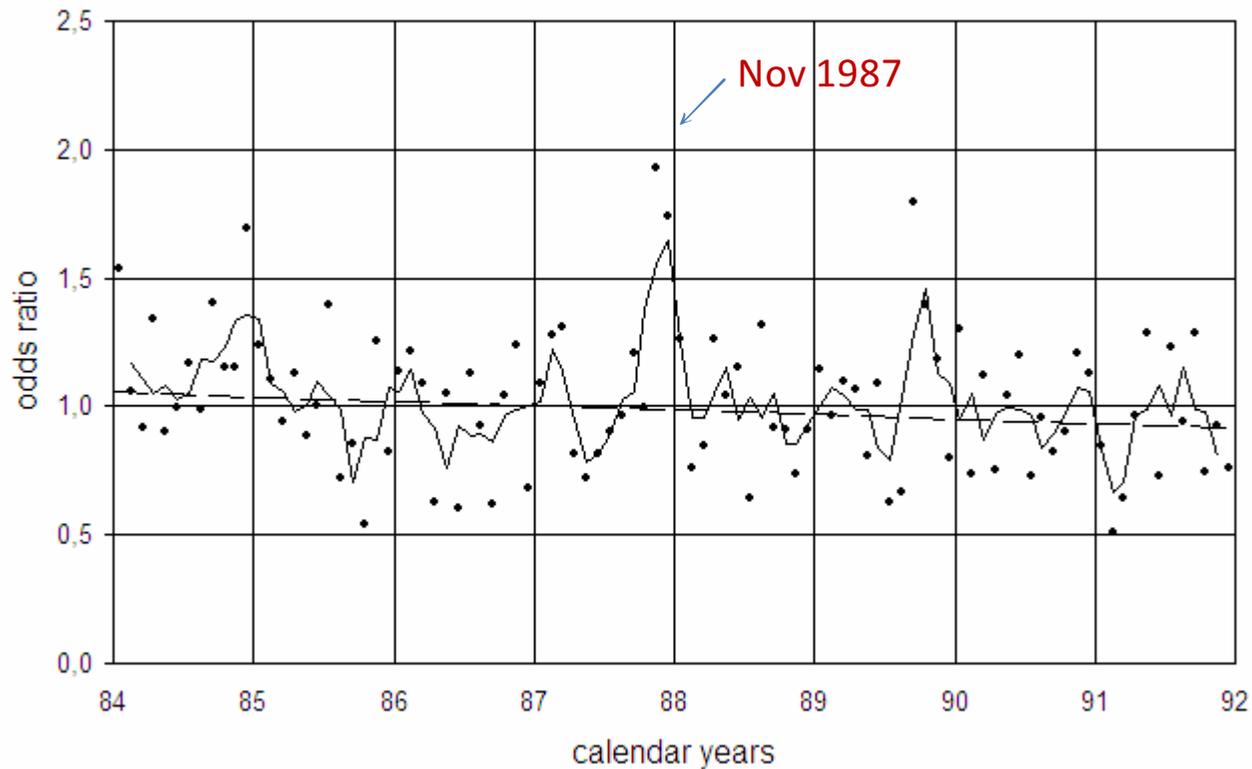
## Prävalenz von angeborenen Fehlbildungen in Bayern



Monatswerte der Prävalenz von angeborenen Fehlbildungen in Bayern,  
und gleitender Dreimonats-Mittelwert

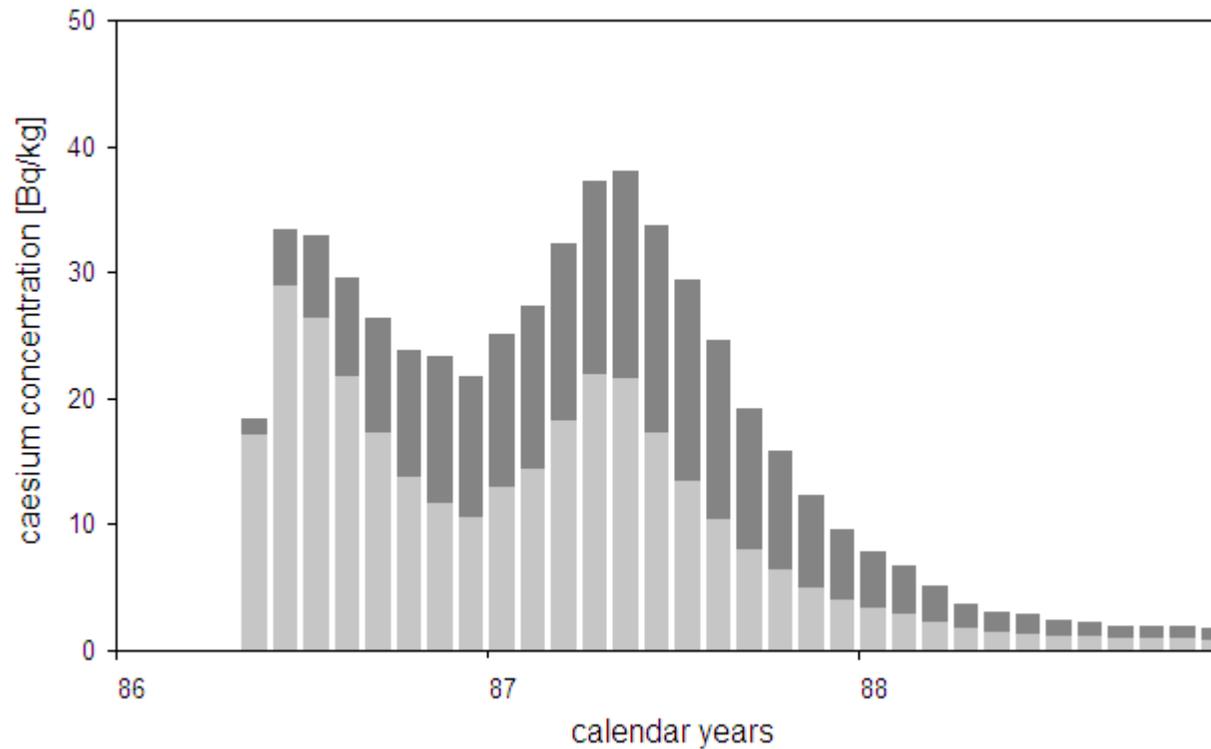
Irl C, Schoetzau A, van Santen F, Grosche B. Birth prevalence of congenital malformations in Bavaria, Germany, after the Chernobyl accident. Eur J Epidemiol. 1995 Dec;11(6):621-5.

## Verhältnis (odds ratio) zwischen Fehlbildungsraten in Süd- und Nordbayern



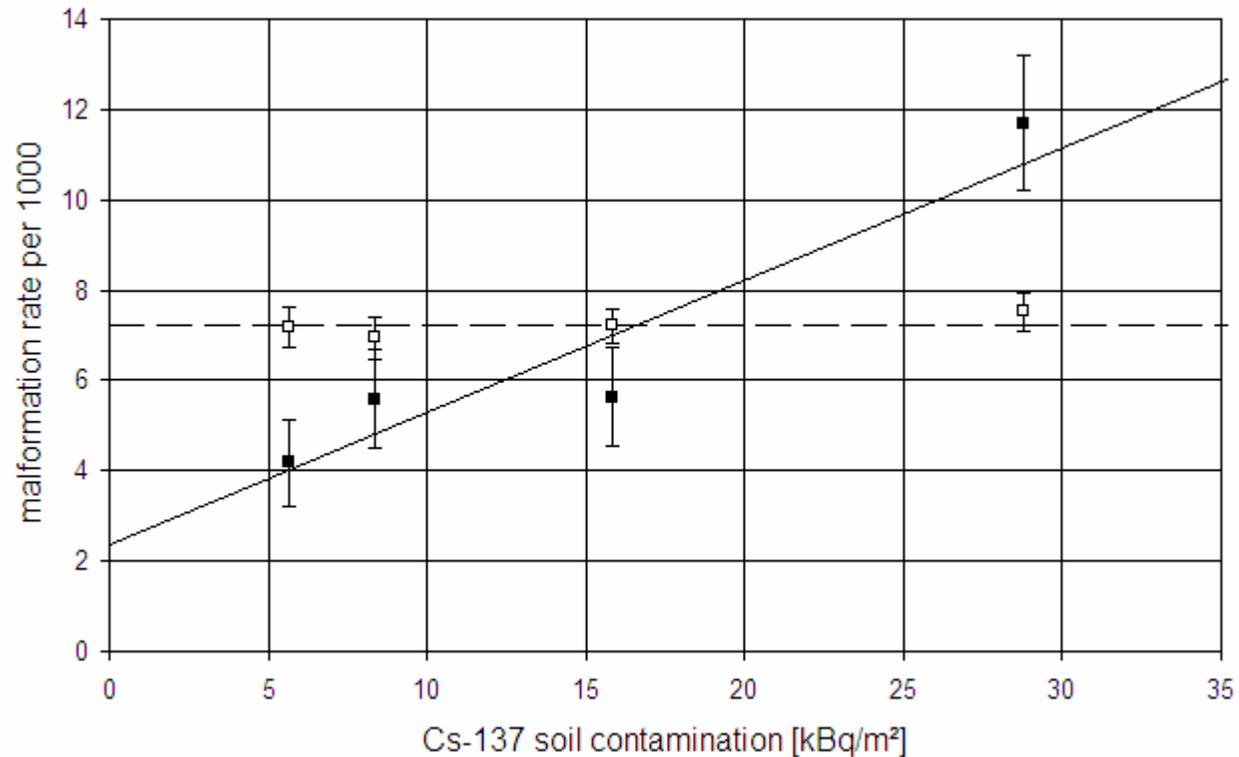
Signifikante Erhöhung der odds ratio im Nov und Dez 1987

## Mittlere Cäsiumbelastung von schwangeren Frauen nach Tschernobyl über Milchprodukte (helle Säulen), und Fleisch / Getreide (dunkle Säulen)



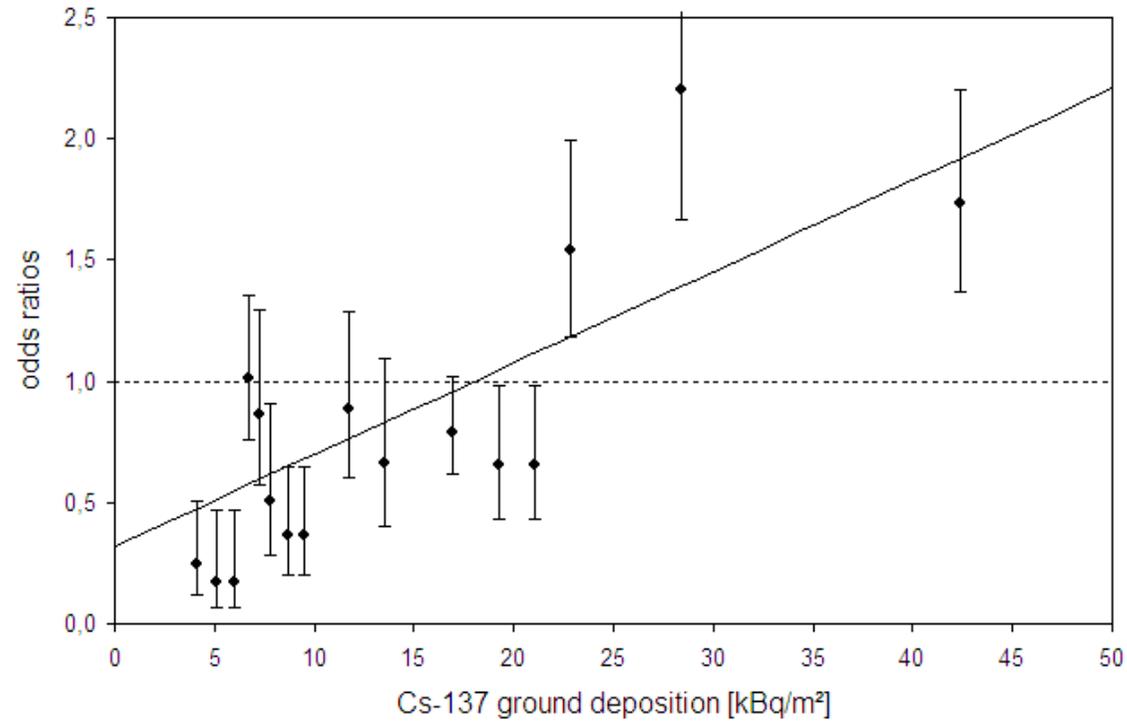
Maxima der Cäsium Belastung im April/Mai 1987, sieben Monate vor Nov/Dez 1987

## Abhängigkeit von Cäsium-Bodenbelastung im Nov/Dez 1987



Abhängigkeit der Fehlbildungsrate von der Cäsium-Bodenkontamination in Nov/Dez 1987 (schwarze Punkte) und in den Monaten Nov/Dez der restlichen Jahre (1984-91) (offene Quadrate).  
24 Landkreise pro Datenpunkt

## Fehlbildungen in Bayern im Nov/Dez 1987



Verhältnis der Fehlbildungsrate in Südbayern zu der in Nordbayern in Abhängigkeit von der Cäsium-Bodenkontamination in Nov/Dez 1987, 6 Landkreise pro Datenpunkt

## Kombinierte räumlich-zeitliche Analyse

### **Methode:**

Cäsiumbelastung  $cs(k, t)$  ist definiert als das Produkt aus:

- (1) Cäsiumbelastung (Bq/kg) der Schwangeren als Funktion der Zeit  $t$ ,  $cs(t)$
- (2) Cäsium-Bodenbelastung ( $kBq/m^2$ ) im Landkreis  $k$  ( $k = 1$  to  $96$ ),  $cs(k)$

Cäsiumbelastung:  $cs(k, t) = cs(k) * cs(t)$  [ $kBq/m^2 * Bq/kg$ ]

Um eine nicht-lineare Abhängigkeit der Fehlbildungsrate von der Cäsiumbelastung zuzulassen, wird ein linear-quadratisches Modell verwendet.

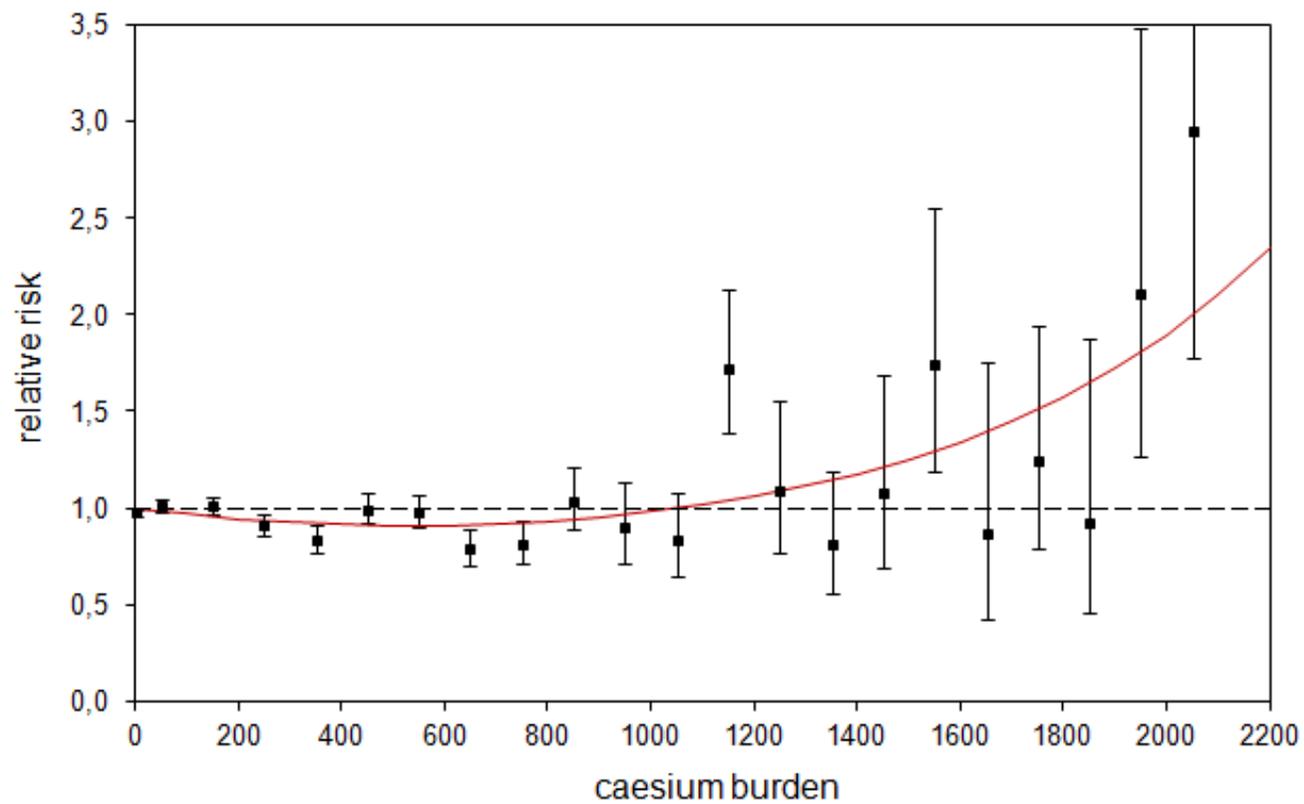
### **Ergebnis:**

Zusammenhang der Fehlbildungsraten mit Cäsiumbelastung ist signifikant ( $P=0.014$ , F-test ).

Beziehung ist nicht linear: linearer Term  $<0$ ,  $P=0.009$ , quadratischer Term  $>0$ ,  $P=0.0023$

Küchenhoff H, Engelhardt A, Körblein A, 2006

available at: <http://www.ratical.org/radiation/Chernobyl/chernobylebook.pdf>, pp 179-183



Fehlbildungsrate in Abhängigkeit von der Cäsiumbelastung und Trendlinie.  
Die Fehlerbalken sind einfache Standardabweichungen.

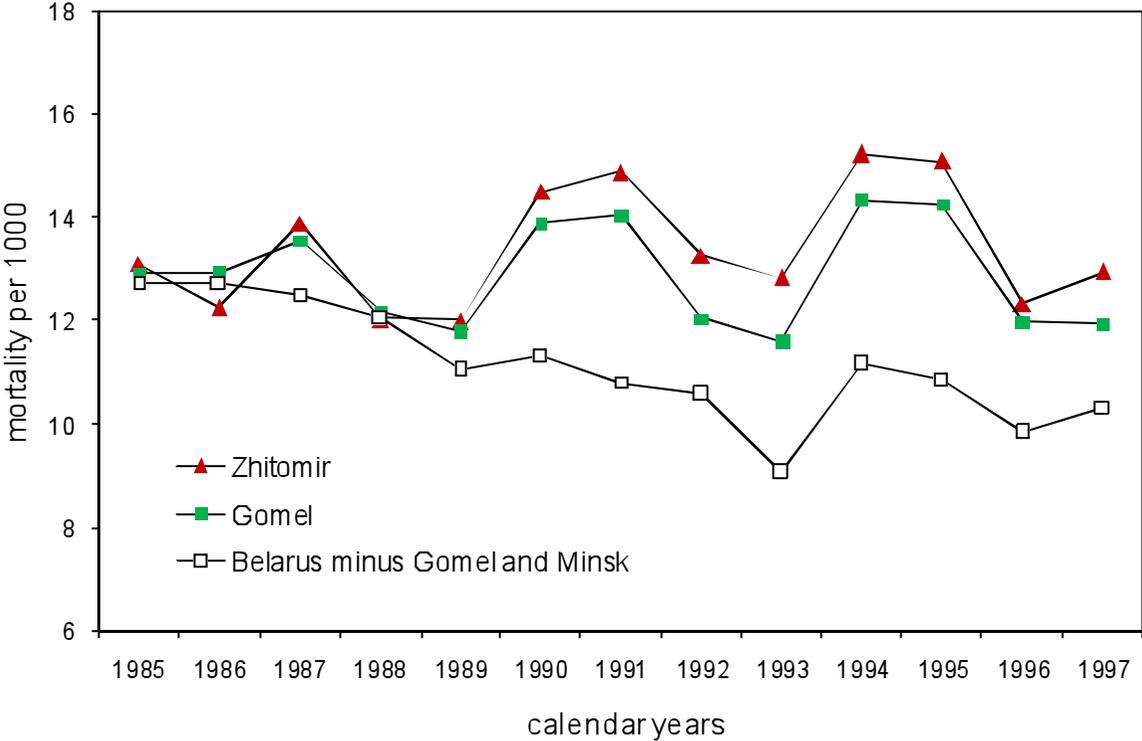


## Strontium-Effekte?

Strontium-90 Bodenbelastung im  
Nahbereich des Tschernobyl Reaktors

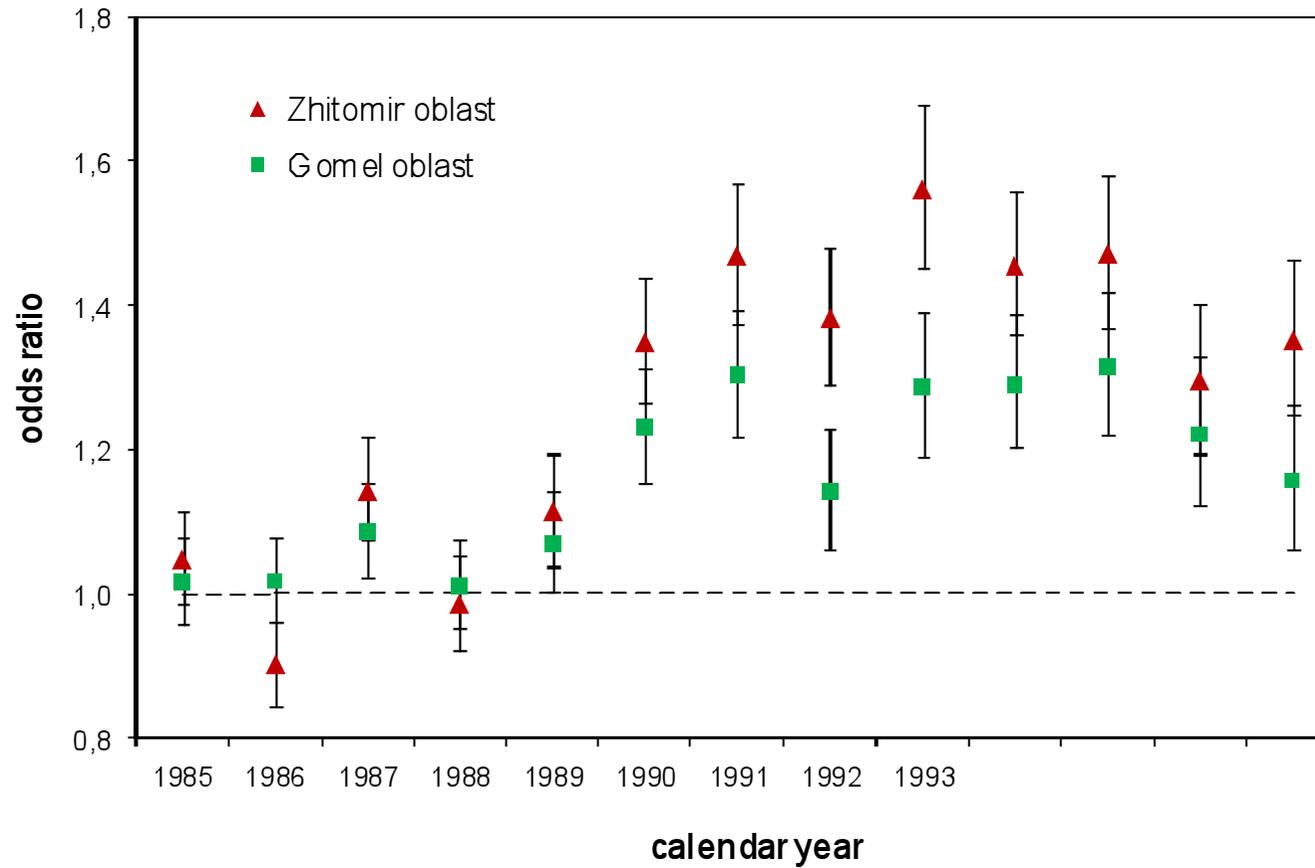
(UNSCEAR 2000, ANNEX J)

# Perinatalsterblichkeit in den Oblasts Gomel (Belarus) und Zhytomyr (Ukraine) und in Belarus ohne Gomel und Minsk-City



Der Anstieg in 1994 ist bedingt durch eine Definitionsänderung (Geburtsgewicht 1000 g -> 500 g)

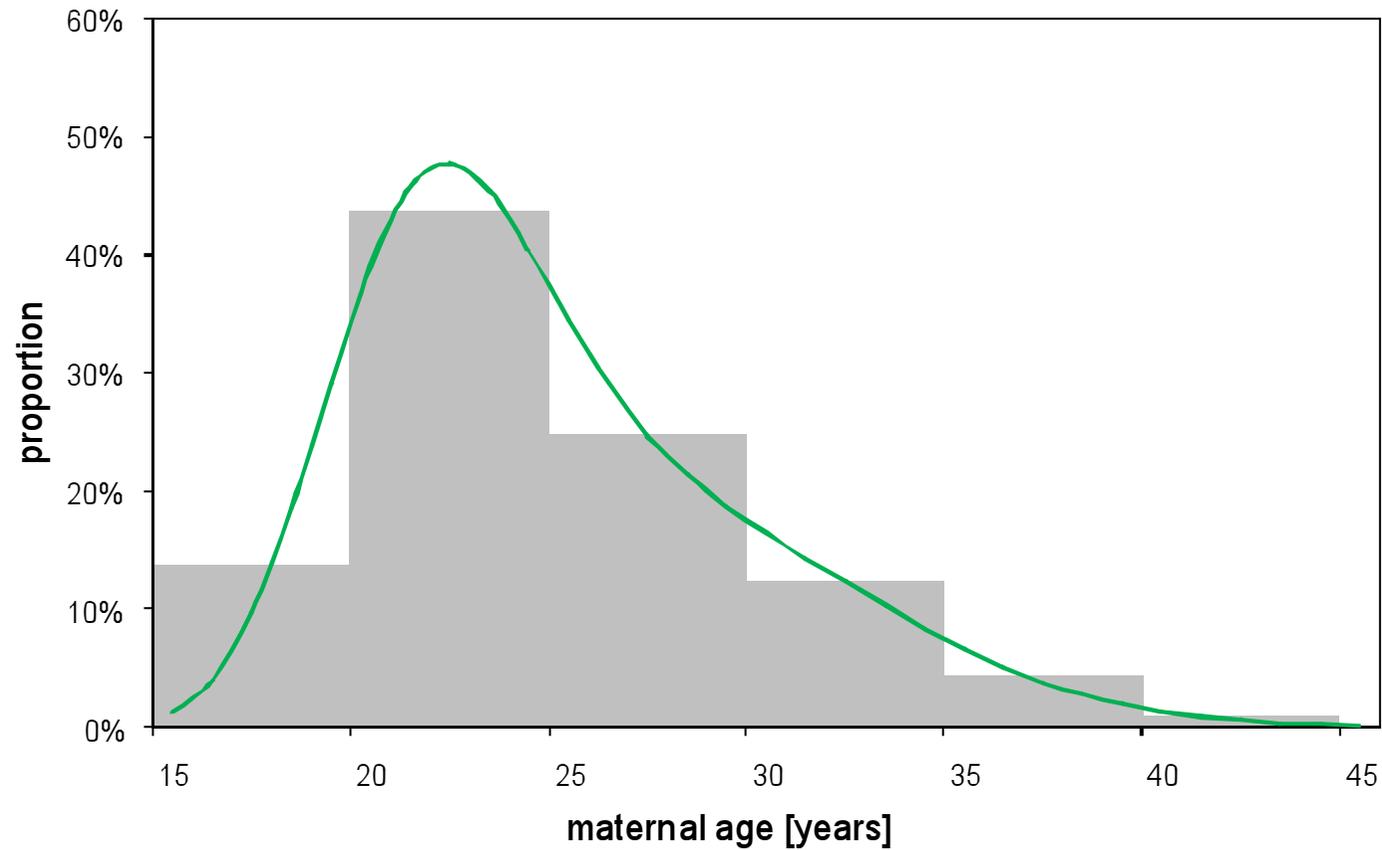
## Verhältnis der Perinatalsterblichkeit in Gomel und Zhytomyr zur Sterblichkeit in Belarus minus Gomel and Minsk-City



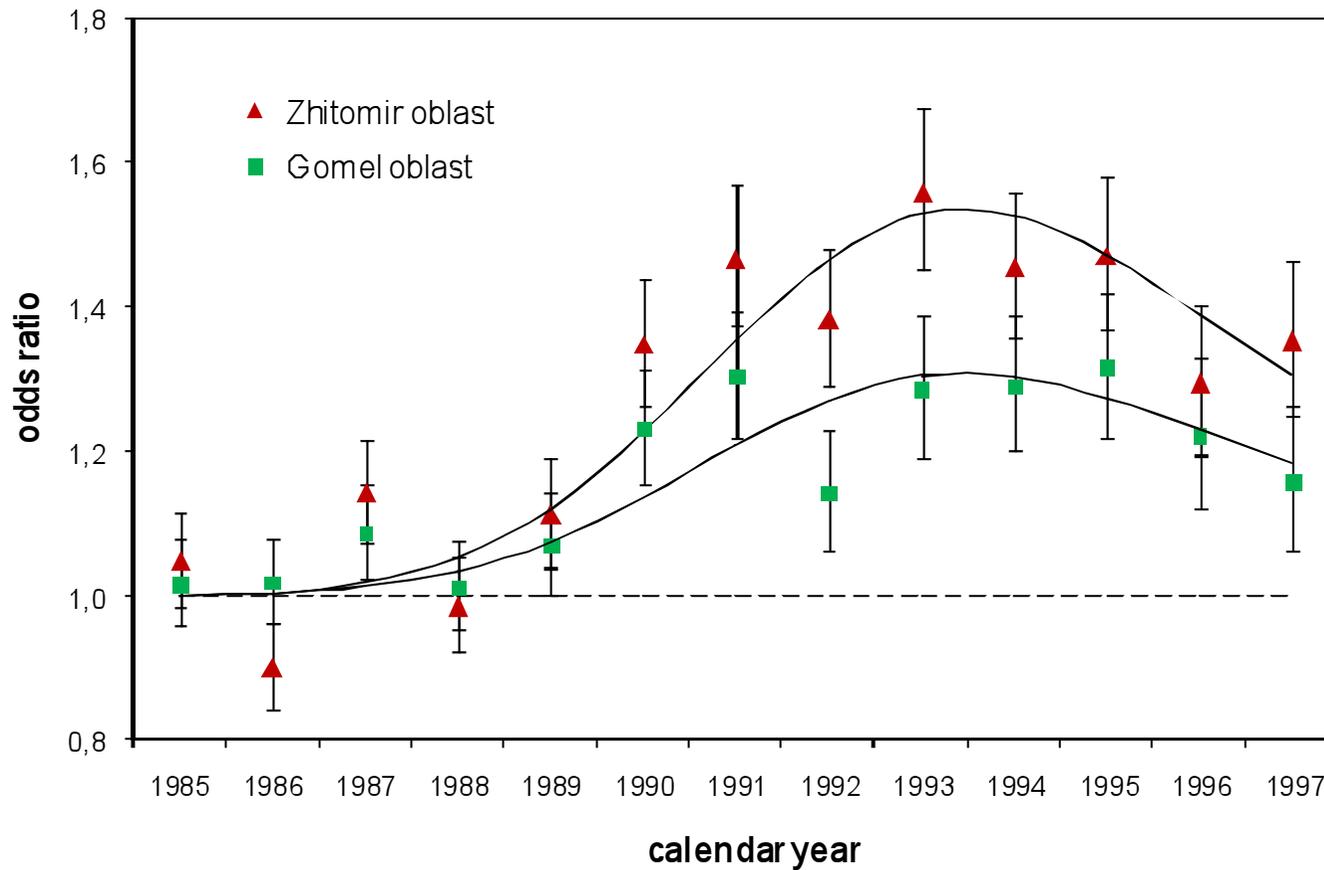
## Modell zur Berechnung der mittleren Strontiumbelastung der Schwangeren

- Strontiumeinbau in die Knochen vorwiegend im Zeitraum des größten Längenwachstums, bei Mädchen im Alter von etwa 14 Jahren
- Maximale Strontiumkonzentration im Niederschlag und in Milch i.J. 1986
- Strontiumbelastung im Jahr  $x$  nach Tschernobyl proportional zum Anteil der Frauen des Geburtsjahrgangs 1972 ( $=1986-14$ )
- Der Anteil von Frauen des Geburtsjahrgangs 1972 im Jahr  $x$  kann aus der Altersverteilung der Gebärenden bestimmt werden ( $\text{Alter} = x - 1972$ )
- Strontiumbelastung sinkt mit effektiver Halbwertszeit von ca. 8 Jahren

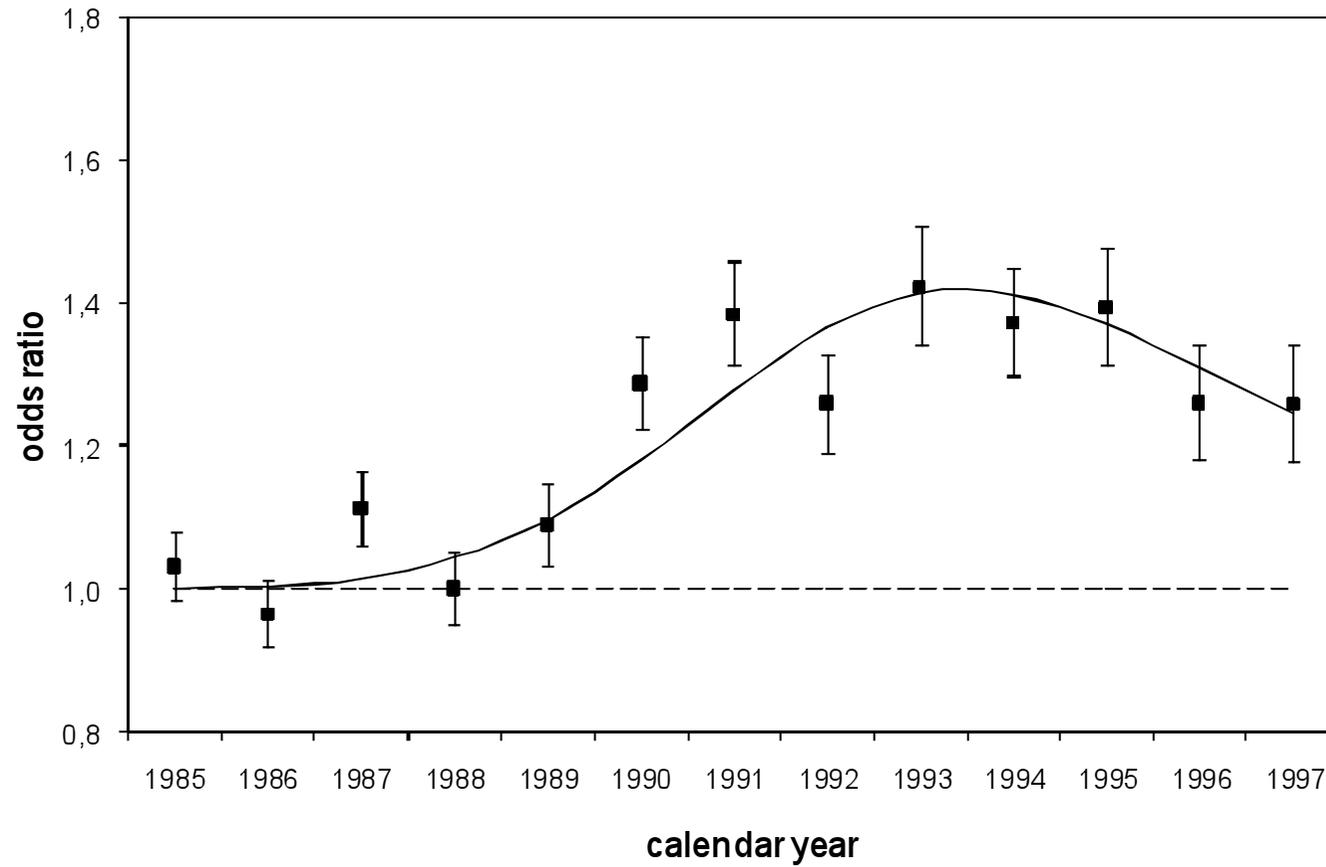
# Mittlere Altersverteilung der Gebärenden in Belarus, 1992-1996 und Interpolationskurve (zwei überlagerte Lognormalverteilungen)



# Verhältnis der Perinatalsterblichkeit in Gomel und Zhytomyr zur Sterblichkeit in Belarus minus Gomel und Minsk-City und Ergebnisse von Regressionen mit dem Strontiumterm



## Ergebnis für gepoolte Daten aus Gomel und Zhytomyr



# Fukushima

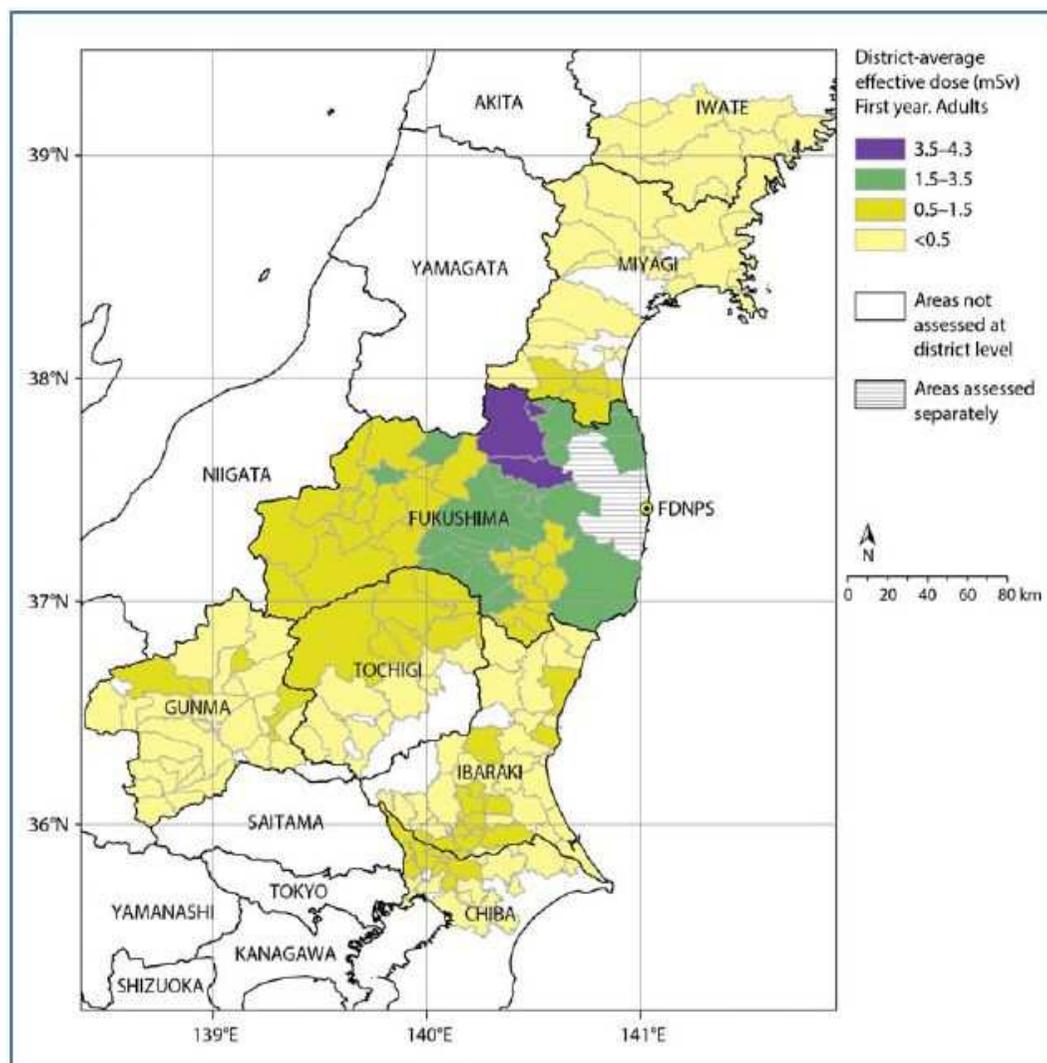


## Auszüge aus dem UNSCEAR 2013 Report

224. The Committee **does not expect any increase** in spontaneous abortion, miscarriages, **perinatal mortality**, congenital effects or cognitive impairment resulting from exposure during pregnancy. In addition, the Committee does not expect any discernible increase in heritable disease among the descendants of those exposed from the accident at FDNPS.

E18. The WHO did not expect any deterministic effects in any of the various groups it considered [W12]. It did not expect prenatal exposure to increase “the incidence of spontaneous abortion, miscarriages, **perinatal mortality**, congenital effects or cognitive impairment.” WHO considered the “... hereditary risk in the offspring of an exposed person ... [to] be much lower ... than the additional cancer risk of that exposed person.”

## Eigene Studie: Perinatalsterblichkeit in Fukushima und angrenzenden Präfekturen



Dosisbelastung (mSv) auf Distriktebene  
im ersten Folgejahr

### Studienregion:

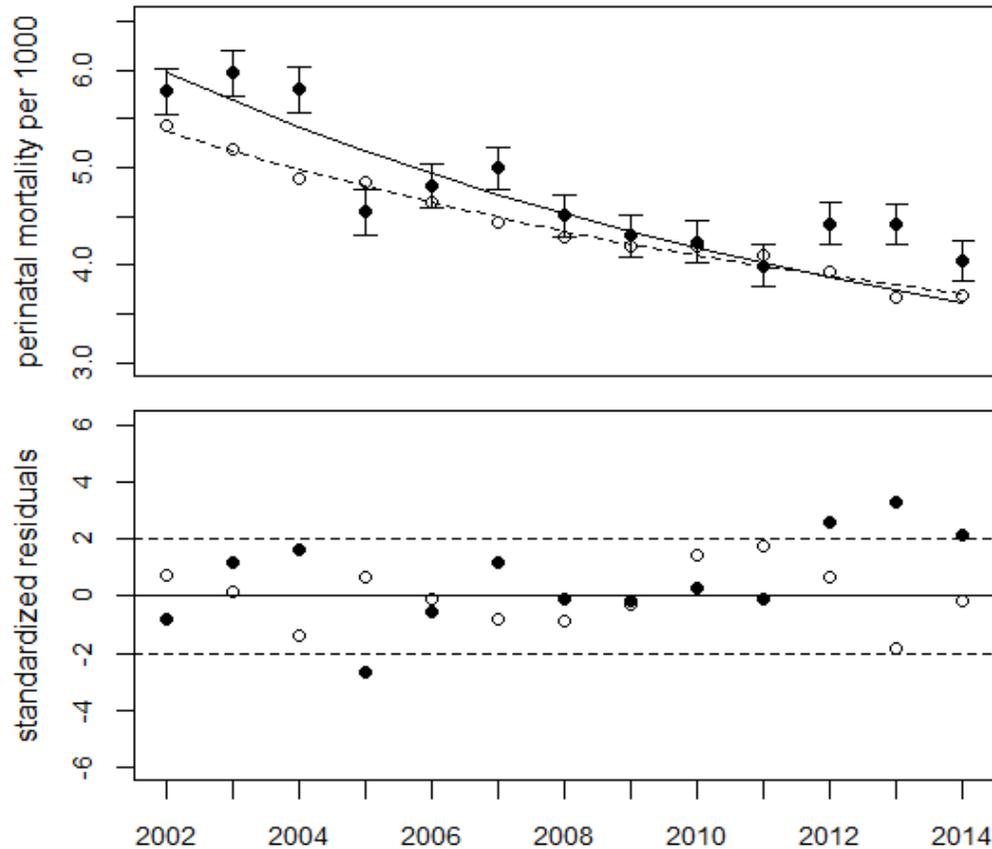
Präfekturen Fukushima, Miyagi, Gunma,  
Tochigi, Ibaraki

### Vergleichsregion:

Rest von Japan

Source: UNSCEAR 2013

## Perinatalsterblichkeit in Studienregion und Vergleichsregion



Fragestellung:

Gibt es einen Anstieg der Perinatalsterblichkeit in der Studienregion im Vergleich zum Trend in der Vergleichsregion?

Regressionsmodell:

Gemeinsame Regression der Daten aus der Studienregion und der Vergleichsregion mit Dummy Variablen für die Jahre 2012, 2013, 2014 in der Studienregion

Ergebnisse:

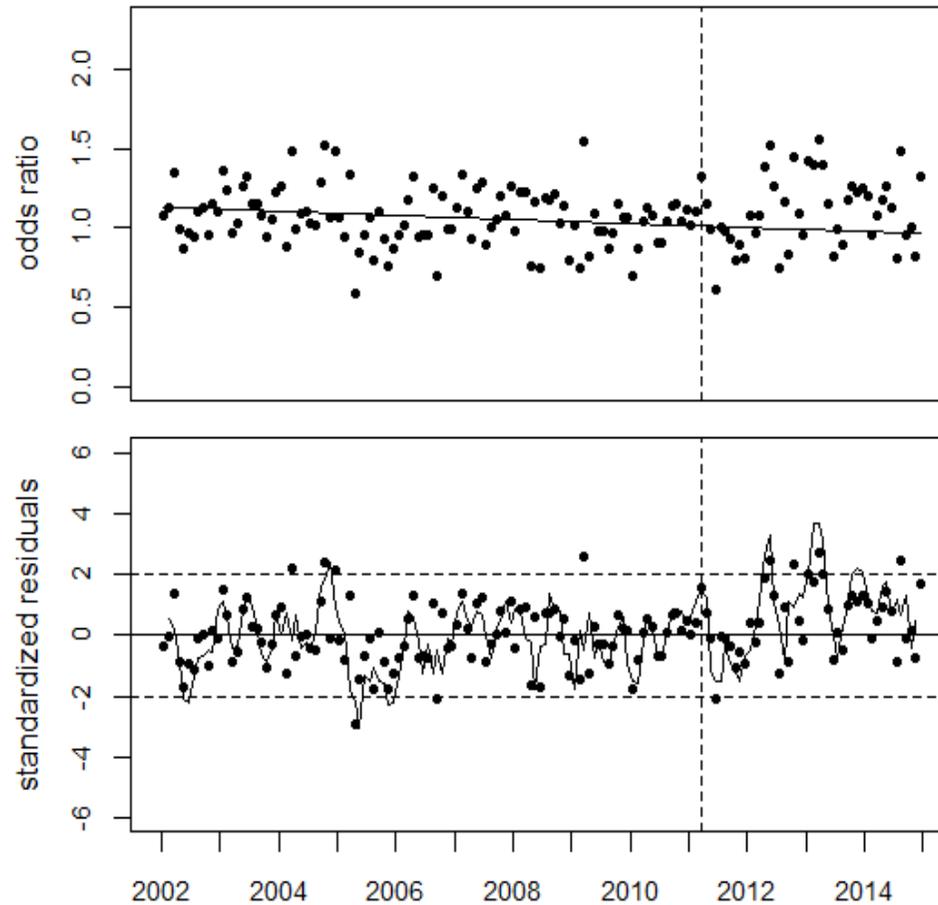
Signifikante Erhöhungen in 2012 und 2013 im Vergleich zum Trend im Vergleichsgebiet.

140 Exzessfälle in 2012-14.

Oben: Perinatalsterblichkeit in der Studienregion (schwarze Punkte) und der Vergleichsregion (offene Kreise)

Unten: Abweichungen vom Erwartungswert (standardized residuals)

## Analyse der Monatsdaten

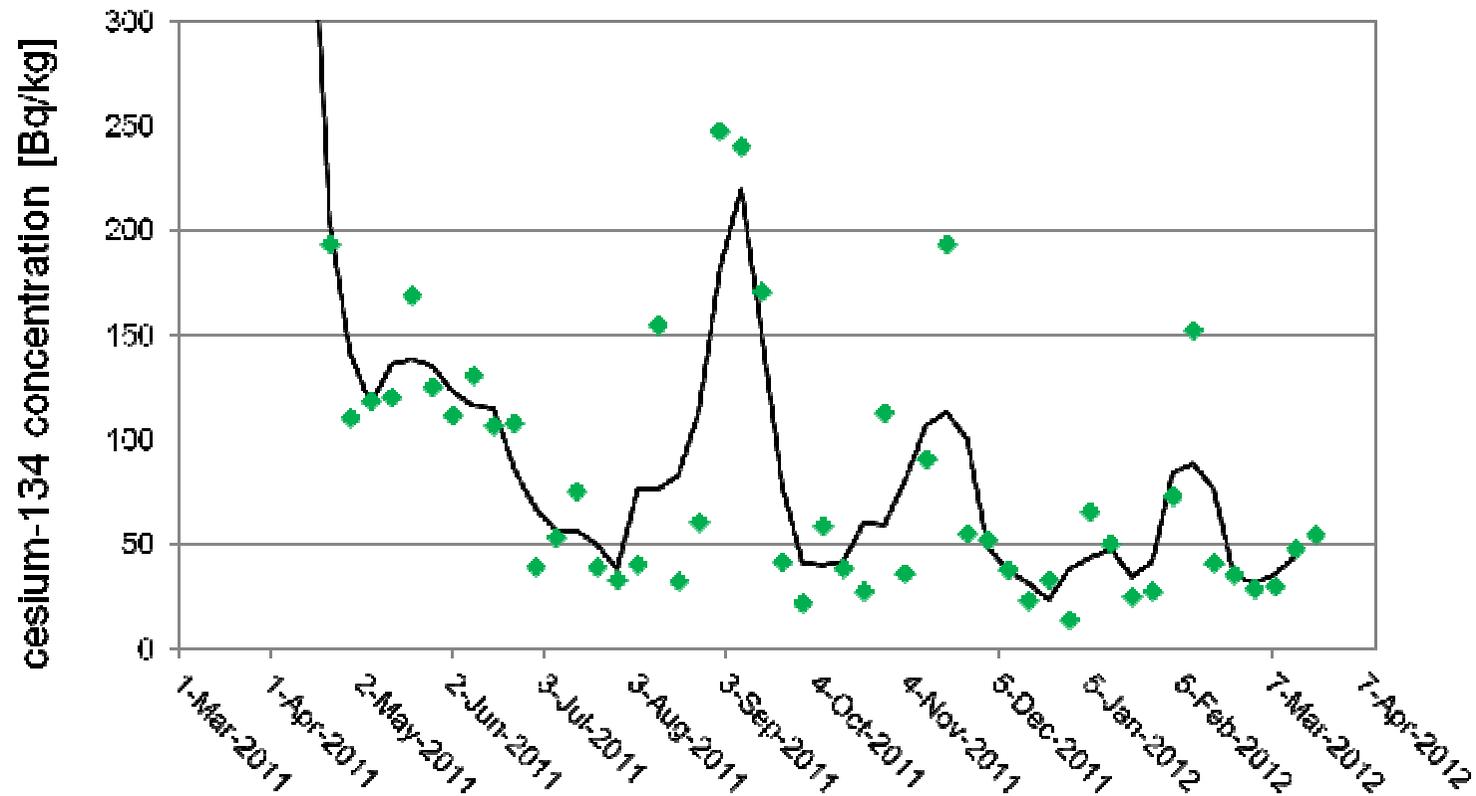


Methode:  
Regression der Quotienten der Perinatalsterblichkeit (odds ratios) in der Studienregion und Vergleichsregion, mit Dummy Variablen für 2012, 2013 und 2014

Ergebnis:  
Signifikante Peaks der Perinatalsterblichkeit im Studiengebiet im Mai 2012 und im März 2013

Verhältnis der Perinatalsterblichkeit in der Studienregion zur Sterblichkeit in der Vergleichsregion  
Darunter: Abweichungen der beobachteten odds ratios vom langjährigen Trend (standardized residuals)

## Cäsium-134 Konzentration in der Kategorie „vegetables“



Wöchentliche Mittelwerte (Punkte) und gleitender Drei-Wochen-Mittelwert (Linie) der Cäsium-134 Konzentration in pflanzlichen Nahrungsmitteln (einschließlich Pilzen)

Merz S, Shozugawa K, Steinhauser G. Analysis of Japanese radionuclide monitoring data of food before and after the Fukushima nuclear accident. Environ Sci Technol. 2015 Mar 3;49(5):2875-85.

## Vergleich mit Perinatalsterblichkeit in Deutschland nach Tschernobyl

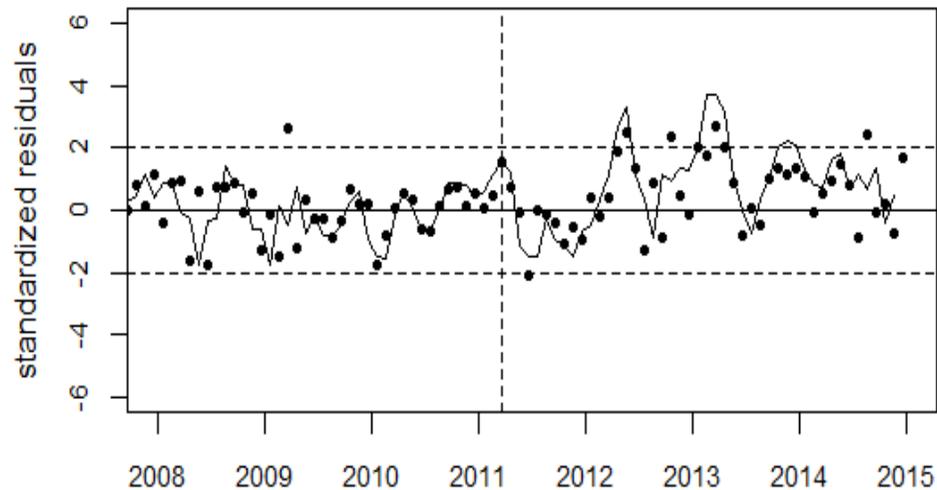


Bild oben:

Residuen der odds ratios der Perinatalsterblichkeit in der Studienregion um Fukushima, und gleitender Dreimonats-Mittelwert. Signifikante Peaks in den Monaten Mai 2012 und März 2013

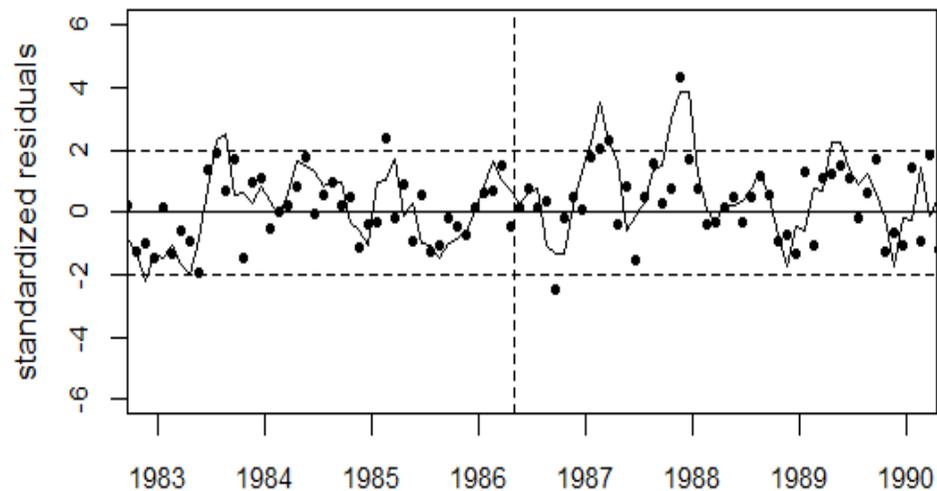


Bild unten:

Perinatalsterblichkeit in Deutschland, Abweichungen vom langjährigen Trend (standardized residuals) und gleitender Dreimonats-Mittelwert. Signifikante Peaks in den Monaten Feb. 1987 und Nov. 1987

Kinderkrebs um Kernkraftwerke

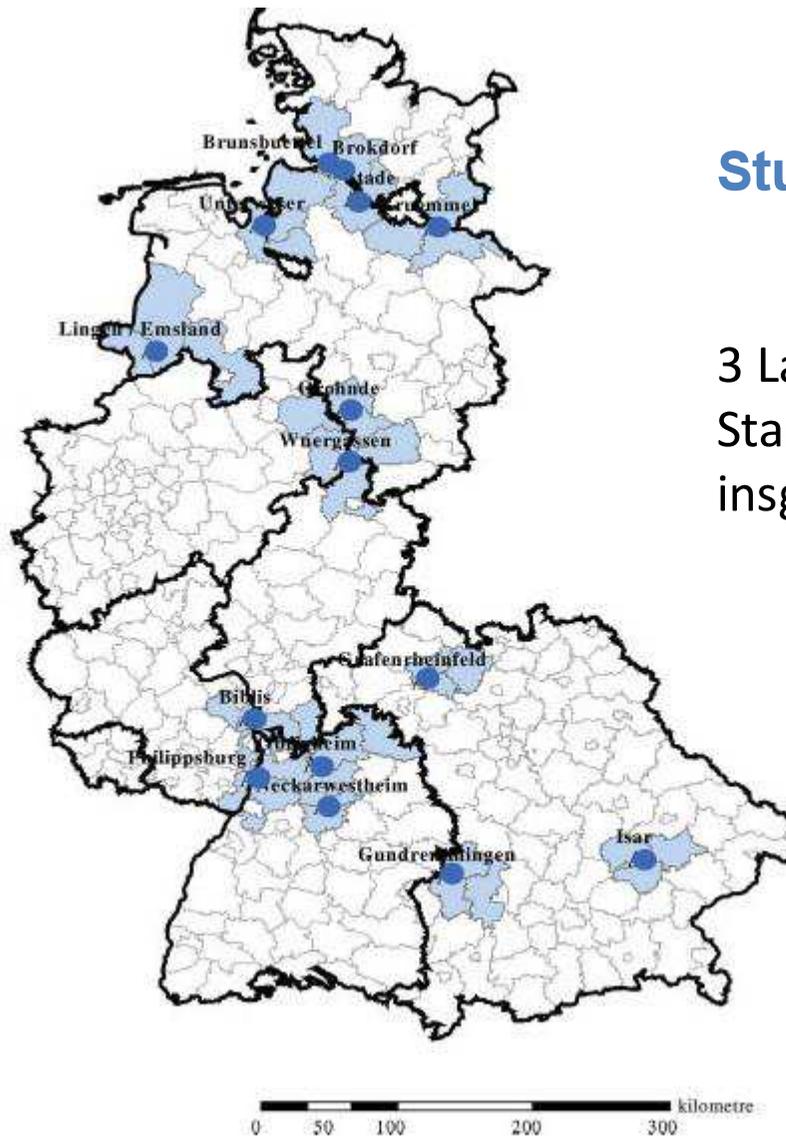
## Die deutsche KiKK-Studie

KiKK = Kinderkrebs um Kernkraftwerke

- Auftraggeber: Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)
- Auftragnehmer: Deutsches Kinderkrebsregister in Mainz
- Beginn: April 2003
- Vorstellung der Ergebnisse im Dezember 2007
- 12-köpfiges externes studienbegleitendes Expertengremium, bestehend aus Wissenschaftlern aus den Gebieten Medizin, Epidemiologie und Statistik, darunter auch drei Atomkraft-Kritiker.

## Studiendesign

- Fall-Kontrollstudie, 3 Kontrollen pro Fall  
(Fall: Krebskrankes Kind, Kontrolle: Kind ohne Krebs)
- Diagnosen: Alle Malignome, als Untergruppe Leukämien
- Alle 16 Standorte von deutschen Kernkraftwerken
- Studienpopulation: Kinder unter 5 Jahren
- Studienzeitraum 1980-2003
- Einseitiger statistischer Test (Test auf Erhöhung)
- Entfernung des Wohnorts vom KKW auf 25 m genau bestimmt
- Entfernungsabhängigkeit geprüft mit vorab festgelegtem reziproken Abstandsgesetz ( $1/r$ )



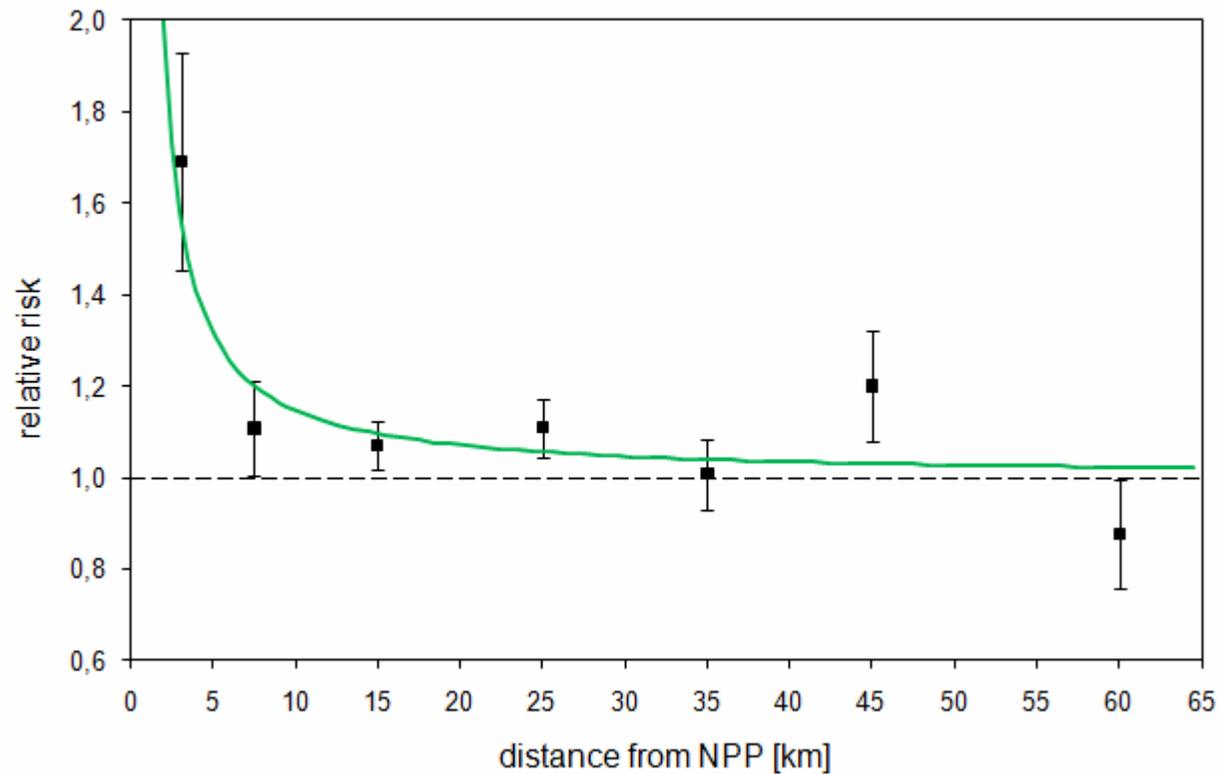
## Studienregionen

3 Landkreise um jeden der 16 Standorte von Kernkraftwerken, insgesamt 41 Landkreise

## Ergebnisse der KiKK Studie

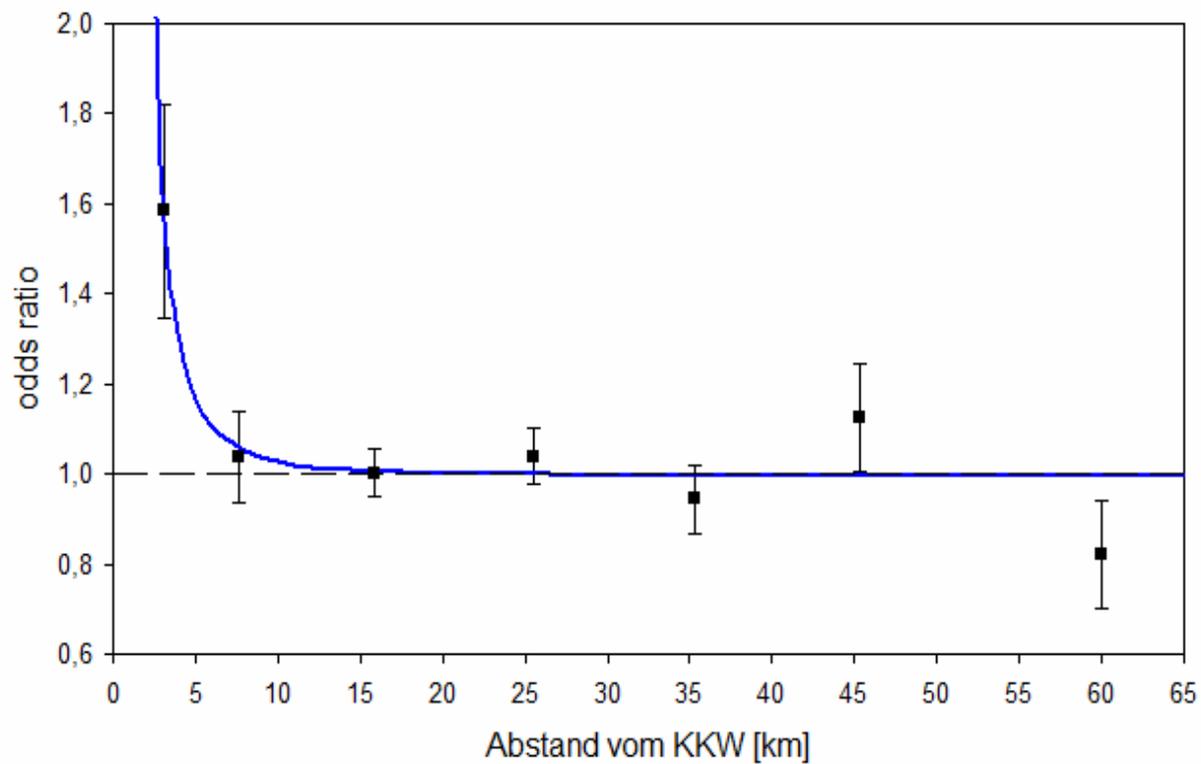
- Signifikant abnehmender Entfernungstrend ( $1/r$ ) für alle Krebse ( $p=0,0034$ ) und für Leukämien ( $p=0,0044$ )
- Relatives Risiko (RR) für  $r < 5$  km gegenüber  $r > 5$  km:  
RR=1.6 für all Krebse und RR=2.1 für Leukämien
- Signifikante Erhöhung in der 5-km Zone:  
29 zusätzliche Krebsfälle, 20 zusätzliche Leukämiefälle
- Wegen des Fall-Kontroll-Studiendesigns ist die KiKK-Studie die z. Zt. aussagekräftigste Studie zum Thema weltweit.

## Alle Krebse bei Kleinkindern (< 5 Jahre) Abstandsabhängigkeit



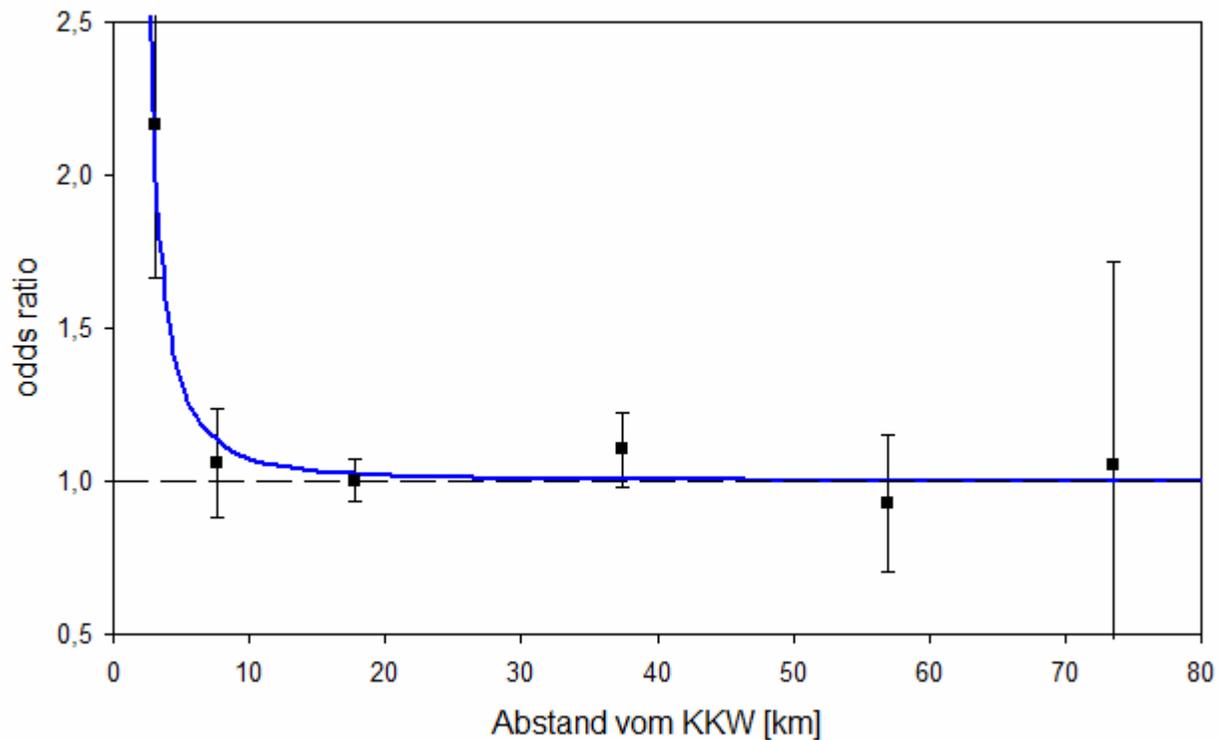
mit **reziprokem Abstandstrend**, relatives Risiko:  $RR \sim \exp(1/r)$

## Alle Krebse: Abstandsabhängigkeit



mit reziprokem **quadratischen** Abstandstrend, relatives Risiko:  $RR \sim \exp(1/r^2)$

## Leukämien: Abstandsabhängigkeit



mit reziprokem **quadratischen** Abstandstrend, relatives Risiko:  $RR \sim \exp(1/r)$

## Schlussfolgerungen der Autoren

- Signifikant erhöhtes Krebsrisiko / Leukämierisiko bei Kindern unter 5 Jahren im Nahbereich (<5km) von deutschen Kernkraftwerken
- Aber: Die Ergebnisse widersprechen Ergebnissen anderer internationaler Studien
- Wegen der niedrigen Strahlenexposition (1000-mal kleiner als natürliche Hintergrundstrahlung) kann der Effekt nicht mit den Emissionen der Kernkraftwerke erklärt werden.
- Vermutet werden andere, unbekannte Ursachen, oder auch Zufall

## Epidemiologische Studien in anderen Ländern

(Leukämien bei Kleinkindern)

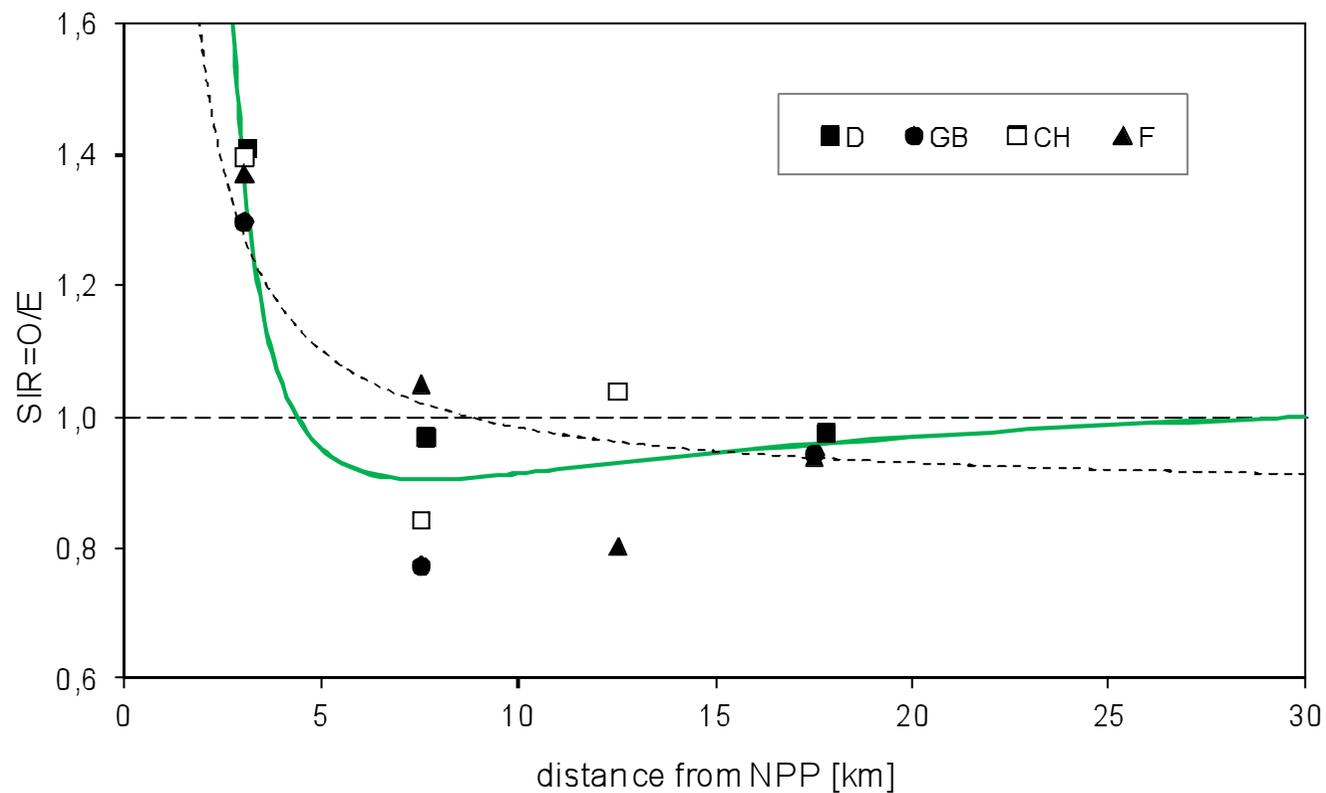
- Deutschland (Kaatsch et al. 2008)  
Geografische Studie (ökologische Studie), 1980-2003
- Großbritannien (Bithell et al. 2008)  
Geografische Studie (ökologische Studie), 1969-2004
- Schweiz (Spycher et al. 2011)  
Kohortenstudie, 1985-2009
- Frankreich (Sermage-Faure et al. 2012)  
Geografische Studie (ökologische Studie), 1990-2007

## Gepoolte Analyse von Leukämien bei Kleinkindern Deutschland (D), Großbritannien (GB), Schweiz (CH), Frankreich (F)

	O	E	SIR	p value	RR	p value
<b>CH</b>						
< 5 km	11	7,87	1,40	0,1711	1,46	0,1668
5-15 km	54	56,37	0,96			
<b>GB</b>						
< 5 km	20	15,37	1,30	0,1464	1,39	0,0982
5-25 km	394	421,4	0,94			
<b>F</b>						
0-5 km	14	10,2	1,37	0,1506	1,48	0,1126
5-20 km	117	126,2	0,93			
<b>D</b>						
< 5 km	34	24,09	1,41	0,0328	1,45	0,0289
5-30 km	417	427,1	0,98			
<b>pooled data</b>						
< 5 km	<b>79</b>	<b>57,5</b>	<b>1,37</b>	<b>0,0042</b>	<b>1,44</b>	<b>0,0017</b>
> 5 km	<b>982</b>	<b>1031,0</b>	<b>0,95</b>			

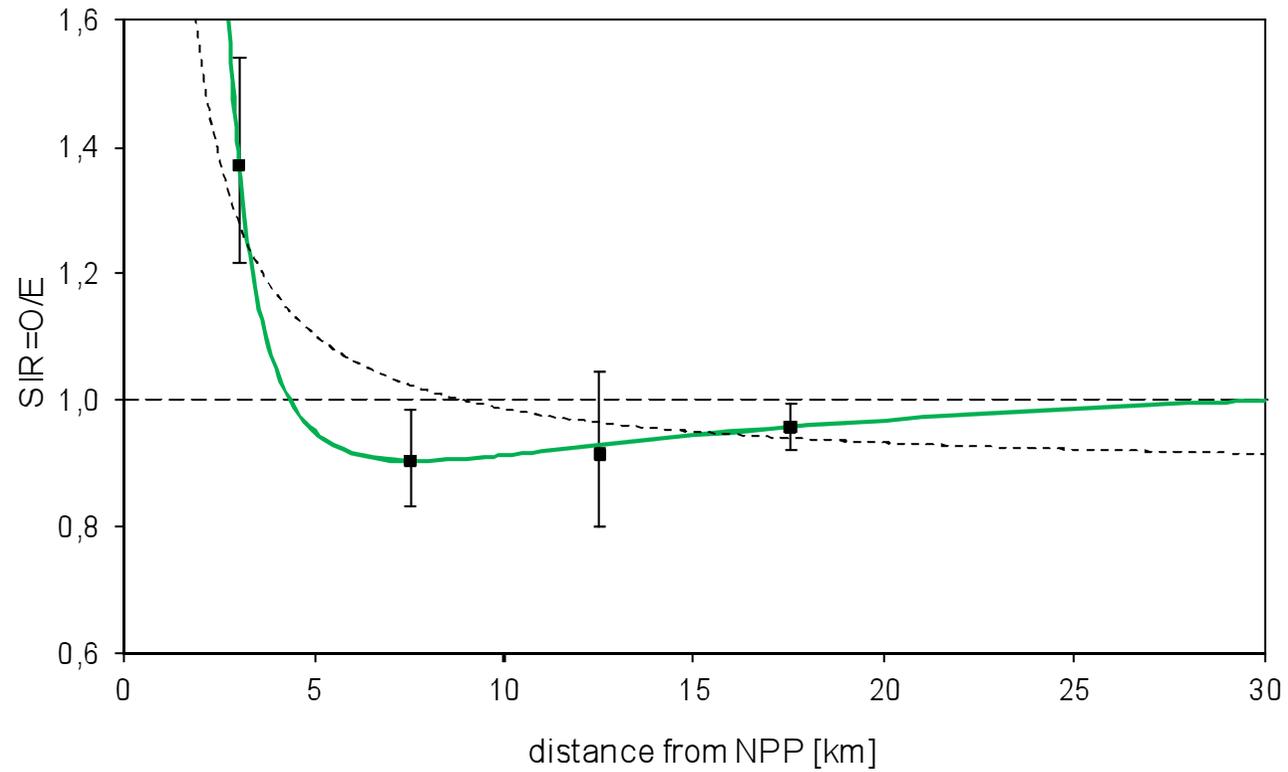
O=observed cases, E=expected cases, SIR=standardized incidence ratio=O/E, RR=SIR(<5km) / SIR(>5km)

## Gemeinsame Regression der Daten aus vier Ländern mit linearem- und linear-quadratischem Modell



Koerblein A, Fairlie I. French Geocap study confirms increased leukemia risks in young children near nuclear power plants. *Int J Cancer*. 2012 Dec 15;131(12):2970-1

## Gepoolte Analyse der Daten aus vier Ländern (D, GB, CH, F)



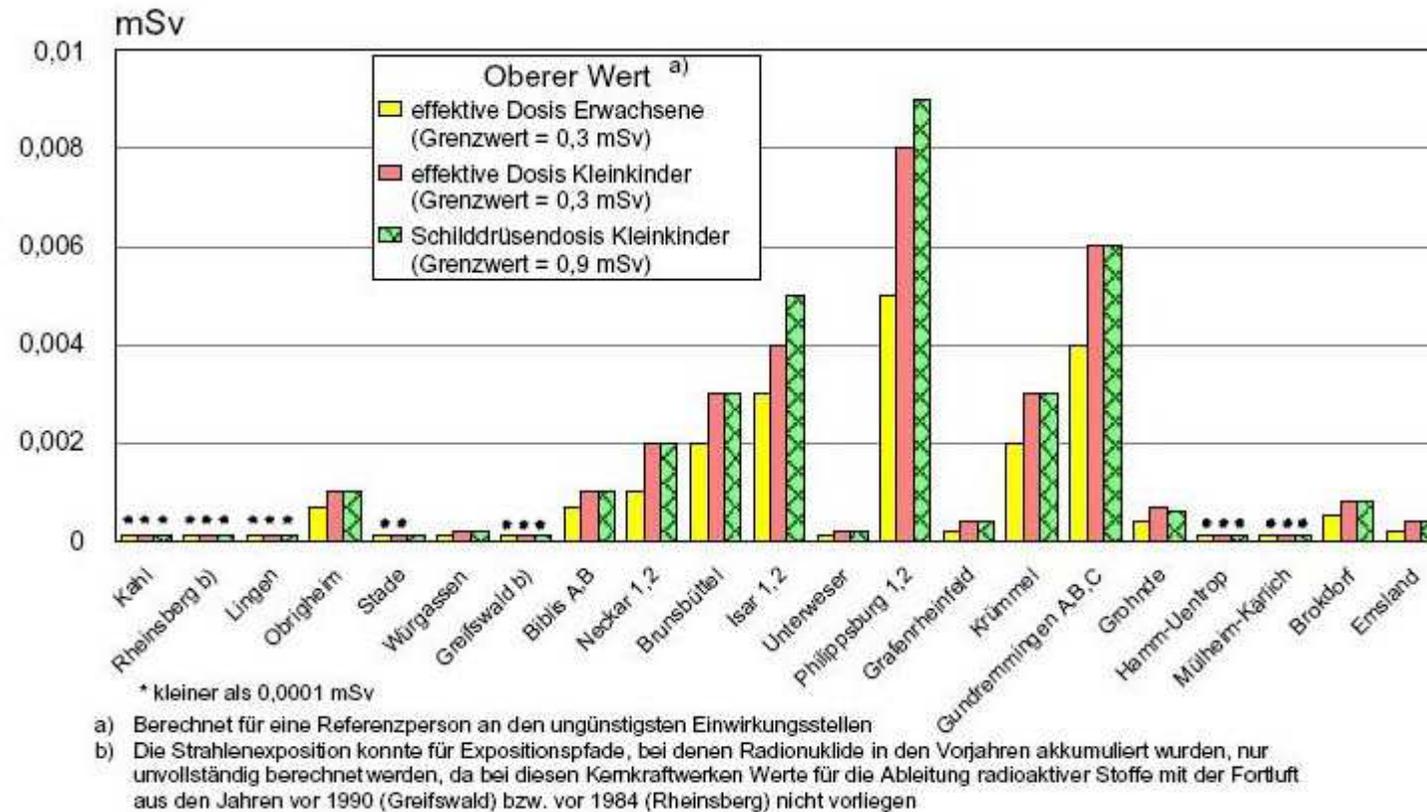
## Erklärungsdilemma: Der fehlende **Faktor 1000**

- KiKK Studie fand Verdopplung des Leukämierisikos bei Kleinkindern im Nahbereich von KKWs
- Verdopplungsdosis für Leukämie: **einige mSv** nach *in utero* Exposition im ersten Trimester
- Berechnete Jahresdosis für Kinder unter 1 Jahr: **einige  $\mu\text{Sv}$  (BfS)** also **1000-mal kleiner** als die Verdopplungsdosis

Anhang:

Erklärungsversuch für erhöhte Leukämieraten um KKWs

### Strahlenexposition im Jahr 2006 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft



Annual radiation exposure near German NPPs (mSv/y)  
 The red columns show effective doses for young children.  
<http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/16/068/1606835.pdf>

## Dose and risk estimates are unreliable

- Official dose calculations use simplified propagation models:  
Two dimensional Gauss model might be in error (up to  $\pm$  factor 10)
- UK Government's Committee Examining Radiation Risks of Internal Emitters (CERRIE, 2004) concluded uncertainties in INTERNAL radiation doses were considerably greater than in EXTERNAL radiation doses
- Uncertainties accumulate:  
official dose estimates might be low by a factor of 10-100,  
which, however, would still be below allowed doses  
(German legal dose limit = 0.3 mSv/y near NPPs,  
ie 100-times the average estimated annual dose)

The official risk estimates might be low  
by a factor of 10-100, but  
we need to explain a factor of 1000!

## How to close the gap?

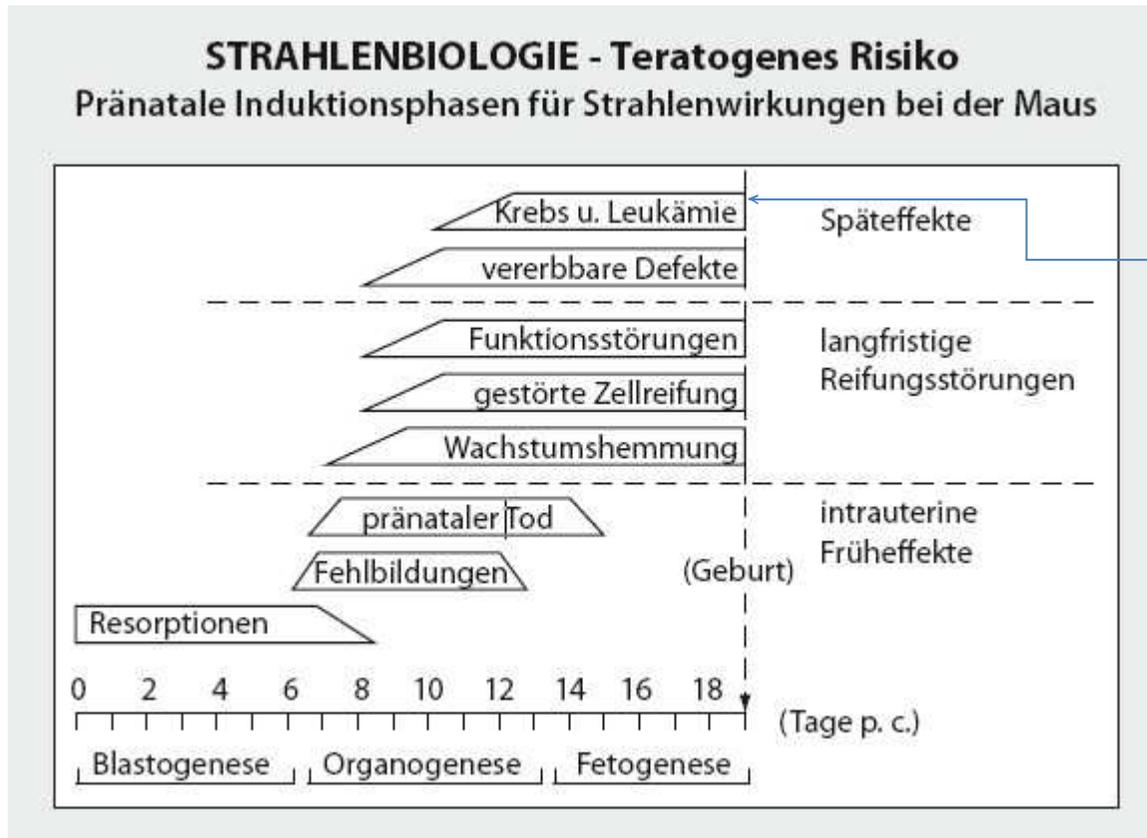
The usual assumption that risk is proportional to average dose is only correct if the dose-response relationship is linear.

But:

(1) do we know the shape of the dose-response curve for prenatal leukemia induction?

(2) dose rates from NPPs show large variations in time and space, while dose rate from natural background radiation is rather constant at a given location.

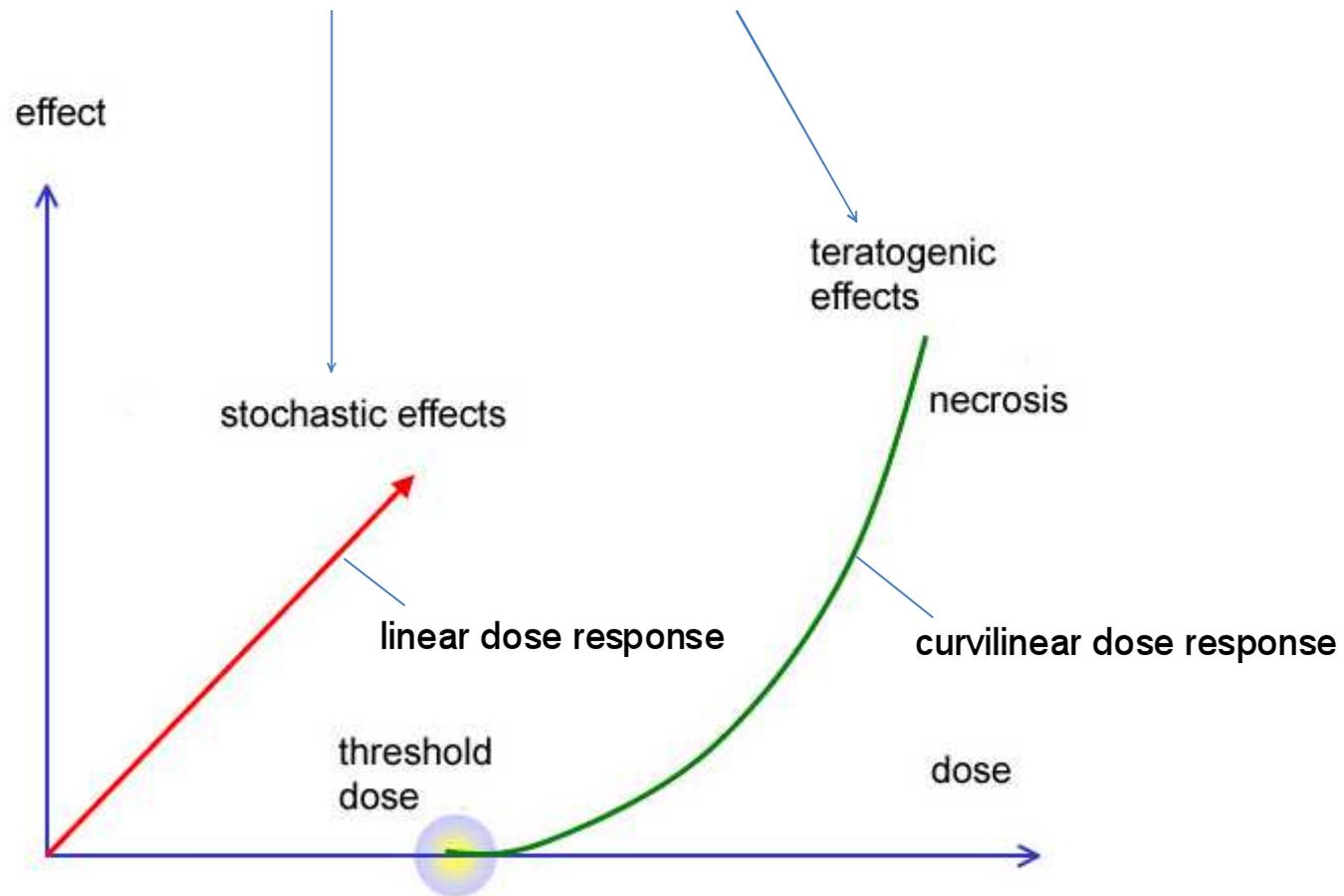
## Prenatal leukemia induction - a teratogenic effect?



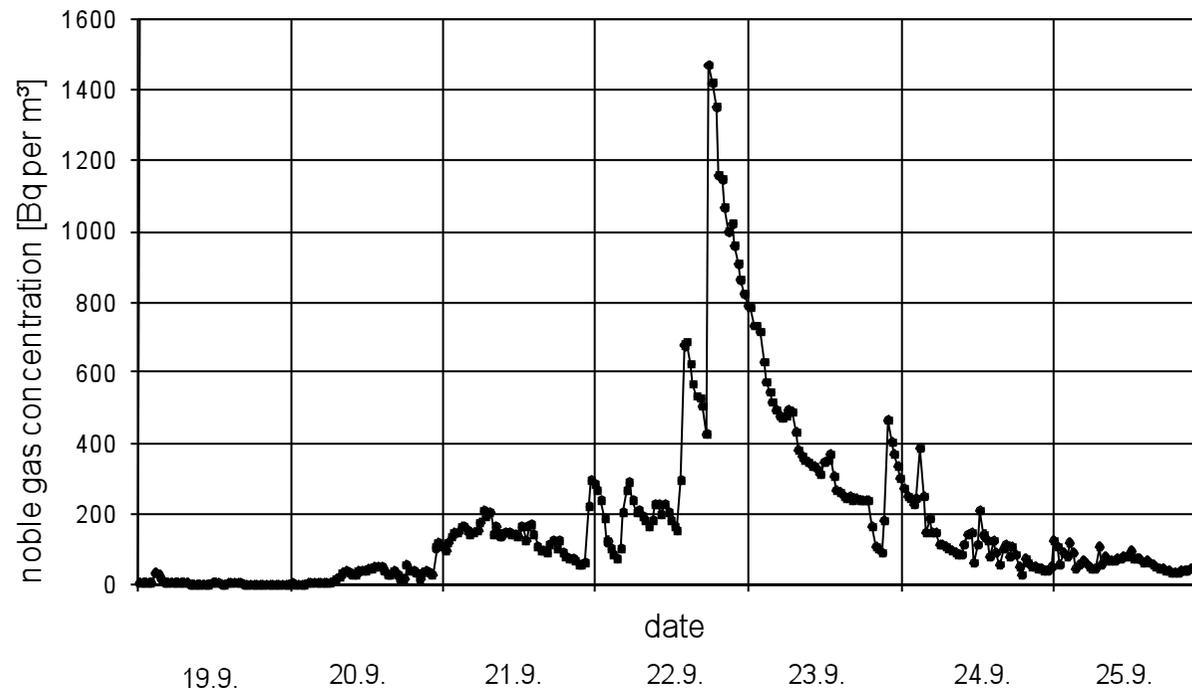
Cancer and leukemia induction in-utero is a teratogenic effect

# Dose-response relationship

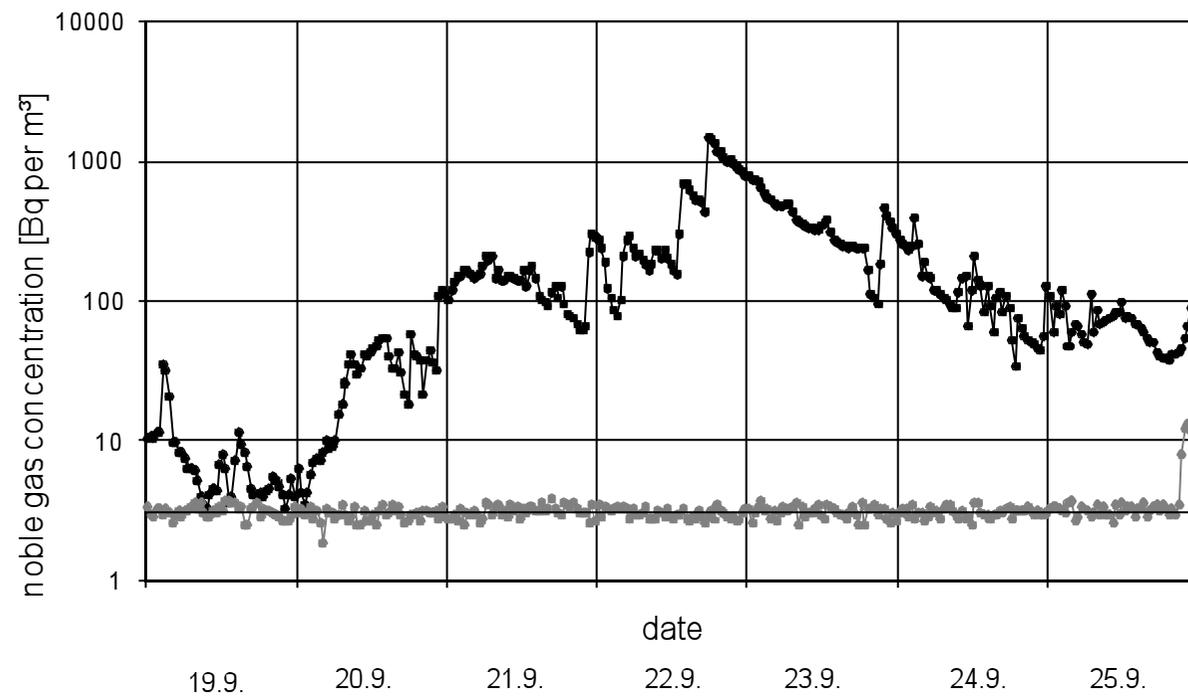
Comparison of stochastic and teratogenic radiation effects



## Noble gas emissions from NPP Gundremmingen 38th calendar week 2011, linear plot



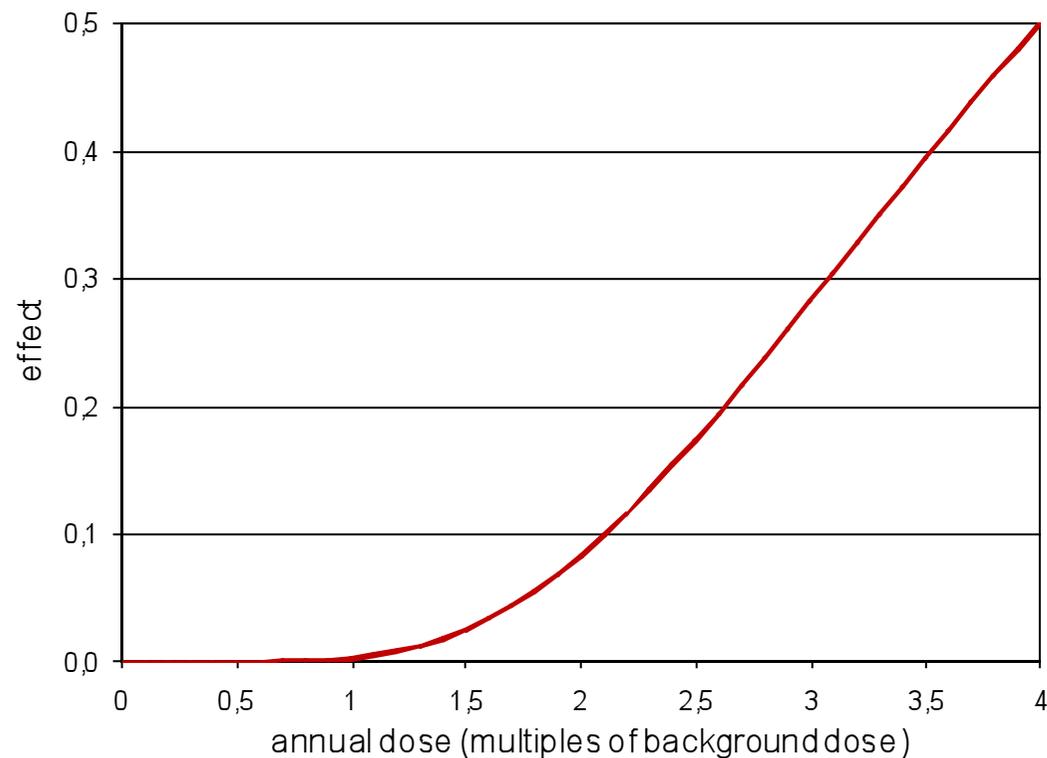
Noble gas emissions from NPP Gundremmingen  
38th calendar week 2011, logarithmic plot  
lower curve: 37th calendar week



## Shape of the dose-response relationship

A cumulative lognormal distribution follows from the assumption that radio-sensitivities and doses are randomly distributed in a population

Cumulative lognormal distribution with median  $\mu=4$  and standard deviation=0,5



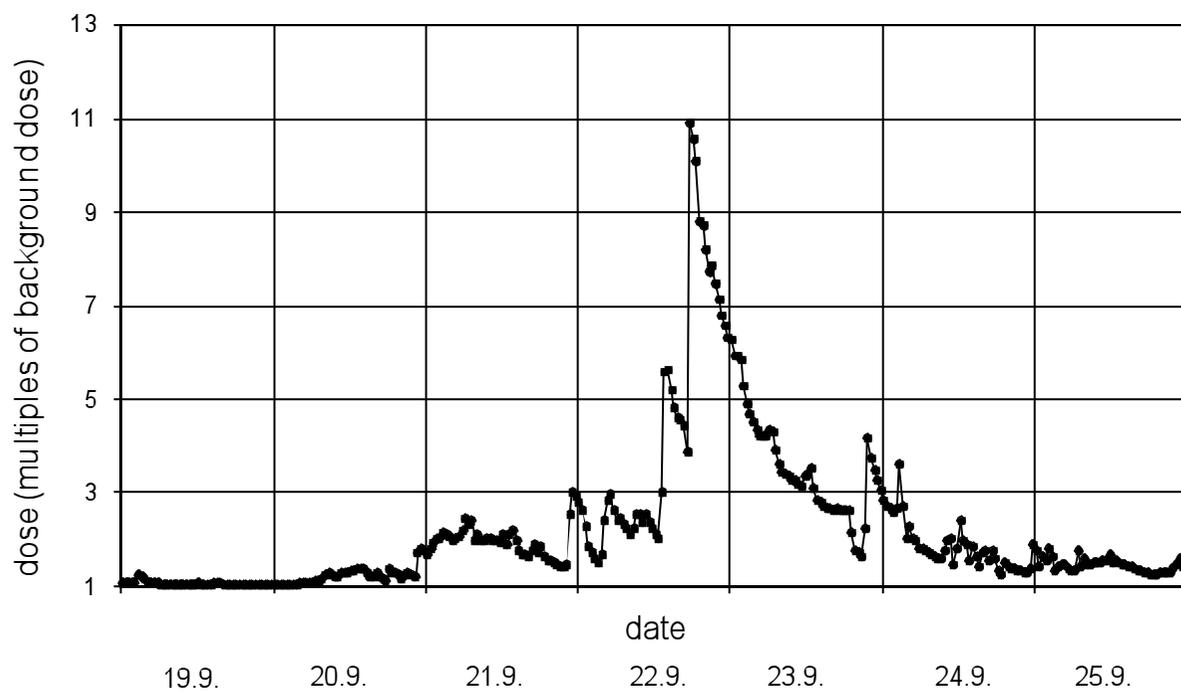
## Calculation of relative risk

1. Noble gas concentrations are proportional to radiation dose from NPP releases
2. Dose from NPP adds to background dose
3. Curvilinear dose-response:  
effect = lognormal( $\mu=4\text{mSv/y}$ ;  $SD=0,5$ )
4. Annual dose from NPP:  $0.050\text{ mSv/y}$   
= 5% of natural background dose ( $1\text{ mSv/y}$  without radon)

Calculation with a lognormally shaped dose-response yields an average relative radiation risk of  $RR = 2,18$

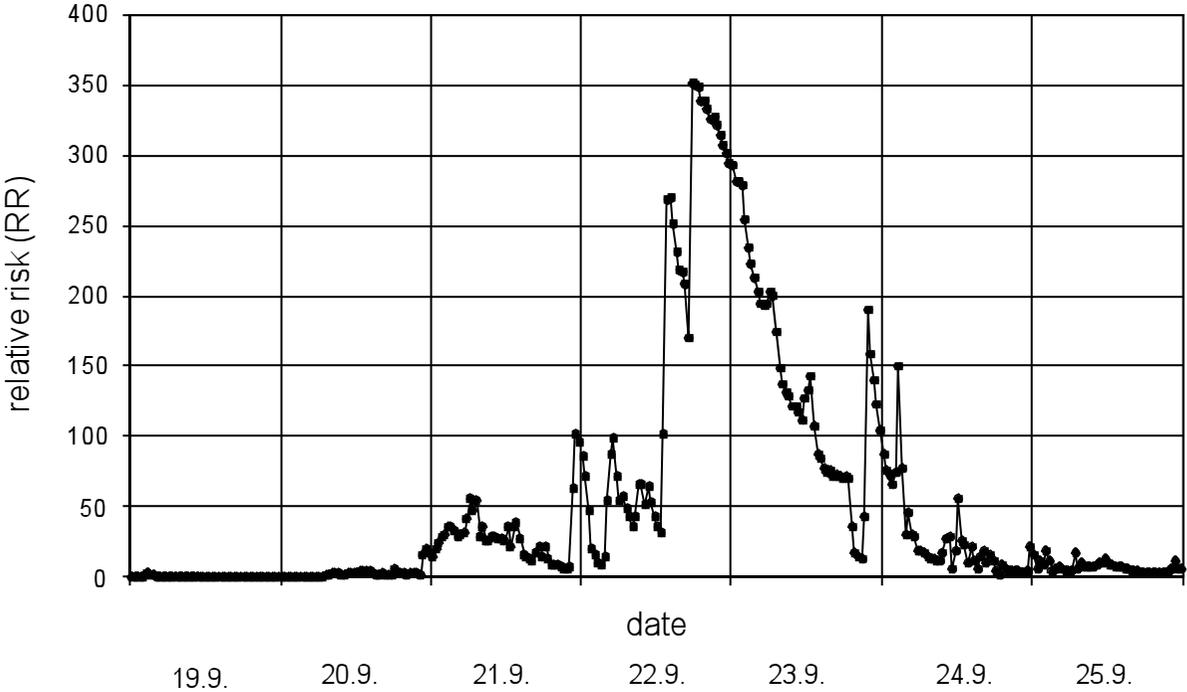
i.e.: 5% increase of annual dose → **118% increase of risk!**

## Dose rate, multiples of background dose rate NPP Gundremmingen, 38th calendar week 2011



# Relative Risk

## NPP Gundremmingen, 38th calendar week 2011



## Summary and Conclusion

- Leukemia in children < 5y near German NPPs more than doubled
- Official dose from NPP releases is some  $\mu\text{Sv}/\text{y}$ , doubling dose for leukemia after in-utero exposure is some mSv, 1000-times greater!
- But:
  - dose estimates are unreliable
  - aerial radioactive discharges from NPPs mainly during refueling
- If dose-response is curvilinear, effect increases disproportionately with dose
- Conclusion: The result challenges the assertion of official Radiation Protection Agencies that radioactive releases must be ruled out as a possible cause of increased leukemias near NPPs.