

## Leukämien um Kernkraftwerke

## Emissionsspitzen können für die erhöhten Leukämieraten verantwortlich sein

Von Alfred Körblein\*

**Neue Daten der Edelgaskonzentration in der Fortluft des Kernkraftwerks (KKW) Gundremmingen bei der Revision im September 2011 zeigten sehr hohe Emissionen mit einem Spitzenwert 500-mal über dem Normalwert. Diskontinuierliche radioaktive Ableitungen im Zusammenwirken mit einer nichtlinearen Dosis-Wirkungsbeziehung könnten der Schlüssel zum Verständnis der Ergebnisse der KiKK-Studie sein.**

### Hintergrund

Im Juni 2011 sorgte ein Fernsehbeitrag im ARD (Sendung Plus-Minus vom 21. Juni 2011) für Aufregung. Berichtet wurde dort über stark erhöhte radioaktive Edelgasemissionen beim Brennelementewechsel im Kernkraftwerk Gundremmingen (KGG) im Juni 2010 (siehe Strahlentelex 588-589 [1]). Kürzlich gab es im KGG wieder einen Brennelementewechsel. Dies nahmen sowohl die atomkritische Ärzteorganisation IPPNW als auch die bayerischen Grünen voneinander unabhängig zum Anlass, sich bei der Überwachungsbehörde um aktuelle Emissionsdaten zu bemühen. Während Christine Kamm als Landtagsabgeordnete auf parlamentarischem Weg beim Bayerischen Landesamt für Umwelt um die Daten ersuchte, stellte Henrik Paulitz von der IPPNW einen förmlichen Antrag auf Basis des Umweltinformationsgesetzes und betonte dabei, dass er die Daten in elektronisch verarbeitbarer Weise benötigen würde. Nach langem Hin und Her stellte die Behörde die gewünschten Daten schließlich zur Verfügung, allerdings nur als pdf-Datei. Sie mussten von Herrn Paulitz bzw. im Büro von Frau Kamm erst

mühsam ins Excel-Format umgewandelt werden. Die Daten wurden mir nach Konvertierung von beiden Seiten zur Auswertung zugesandt.

### Emissionsspitzen

Der Block C des KKG wurde am Abend des 18. September 2011 heruntergefahren und ging nach Brennelementewechsel und Revision erst Anfang November wieder ans Netz.

Abbildung 1 zeigt die Edelgaskonzentration in der Fortluft im Zeitraum vom 5. September bis 6. November 2011. Ein massiver Anstieg zeigt sich am 22. September, wahrscheinlich verbunden mit der Öffnung des Reaktordeckels. Die Konzentration steigt von circa 3 Kilobecquerel pro Kubikmeter ( $\text{kBq}/\text{m}^3$ ) vor Beginn der Revision auf einen Spitzenwert von  $1470 \text{ kBq}/\text{m}^3$  an, und fällt innerhalb weniger Tage wieder deutlich ab. Der Großteil der Emissionen entfällt auf die erste Woche der Revision, die 38. Kalenderwoche (KW).

Abbildung 2 enthält die selben Daten wie Abbildung 1, jetzt aber in halblogarithmischer Darstellung. Man erkennt, dass die Konzentrationen erst in der 43. KW das Niveau von vor der Revision, also in der 37. KW, erreichen.

Abbildung 3 zeigt die Daten

nur für die 38. Kalenderwoche 2011. Zusätzlich eingetragen sind die Konzentrationen für die 26. Kalenderwoche 2010 (graue Kurve). Im Jahr 2011 waren die Emissionen in dieser einen Woche circa 5-mal größer als bei der Revision in der 26. Kalenderwoche 2010.

In Abbildung 4 sind die Daten wieder halblogarithmisch dargestellt. Die grauen Punkte sind dabei aber die Konzentrationen in der 37. Kalenderwoche. Die schwarze horizontale Linie kennzeichnet den Mittelwert der Daten der 37. KW vor Beginn der Revision.

### Auswertung

Aus den Konzentrationen und dem Volumenstrom der Fortluft ( $260.000 \text{ Kubikmeter pro Stunde } (\text{m}^3/\text{h})$ ) lassen sich die stündlichen bzw. täglichen Abgaben berechnen. Die Abgaben vom 1. September bis 31. Oktober 2011 betragen

11,1 Terabecquerel (TBq). Für das restliche Jahr liegen uns keine Messwerte vor. Unter der Annahme, dass die Konzentrationen das Niveau von vor der Revision hatten, also wie in der 37. Kalenderwoche (siehe horizontale Linie in Abbildung 4), errechnen sich für die restlichen 10 Monate Abgaben in Höhe von  $5,8 \text{ TBq}$ . Insgesamt ergeben sich so Ableitungen von  $16,9 \text{ TBq}$  Edelgase pro Jahr.

Für den Tag mit den höchsten Emissionen, den 22. September, berechnet sich aus Konzentration und Volumenstrom eine Edelgasemission von  $3,1 \text{ TBq}$ . In einer Pressemeldung des KKW Gundremmingen vom 12. November 2011 heißt es:

*„Auch am Tag der maximalen Ableitung von Edelgasen (22. September 2011) wurde der vorgeschriebene und hier ausschließlich relevante Tagesgrenzwert (Summe aller Ab-*

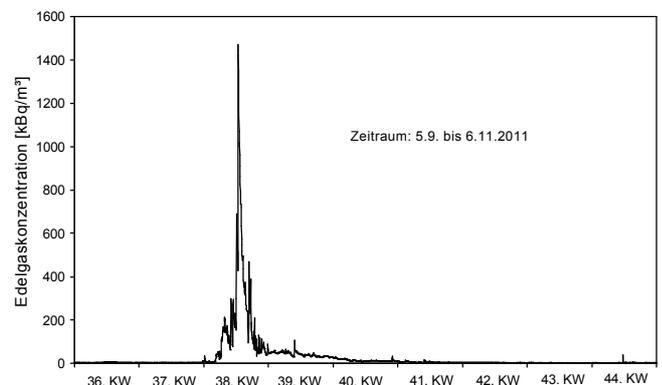


Abbildung 1: Edelgaskonzentration in der Fortluft des Kernkraftwerks Gundremmingen im Zeitraum 5. September bis 6. November 2011 (36. bis 44. Kalenderwoche, KW).

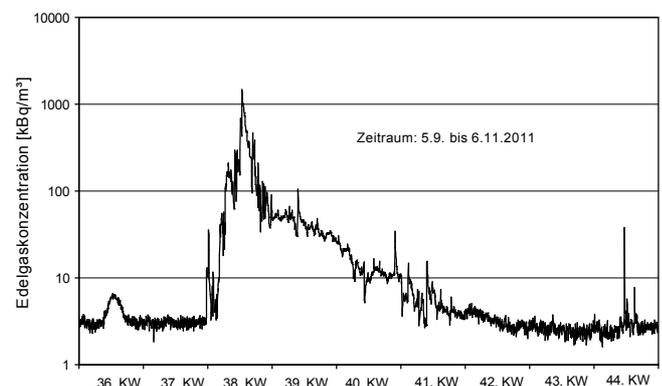


Abbildung 2: Edelgaskonzentration in der Fortluft des Kernkraftwerks Gundremmingen in der 36. bis 44. Kalenderwoche, halblogarithmischer Auftrag.

\* Dr. Alfred Körblein,  
www.alfred-koerblein.de

leitungen innerhalb von 24 Stunden inklusive des Spitzenwertes) um rund 85 Prozent unterschritten.“

(<http://www.kkw-gundremmingen.de/presse.php?id=401>)

In anderen Worten, die Ableitungen betragen nach Betreiberangaben am 22. September 15 Prozent des zulässigen Tagesgrenzwertes von 18,5 TBq. Das sind 2,8 TBq. Dieser Wert stimmt recht gut überein mit dem oben aus den LfU-Daten berechneten Wert von 3,1 TBq. Erwähnenswert ist aber, dass 3,1 TBq – 18 Prozent der geschätzten Jahresabgaben von 16,9 TBq – an einem einzigen Tag emittiert wurden. Zusammen mit dem Folgetag, dem 23. September, errechnen sich 32 Prozent und für die 38. Kalenderwoche 46 Prozent der Jahresemissionen.

Interessant ist auch der Vergleich mit dem Vorjahr. In der ersten Woche des Brennelementewechsels, der 26. Kalenderwoche 2010, wurden 1,65 TBq emittiert, während es 2011 in der 38. Kalenderwoche 7,8 TBq waren (siehe Abbildung 3, graue Kurve).

Was ist der Grund für diesen sehr deutlichen Anstieg der Emissionen?

### Dosis-Wirkungsbeziehung

Geht man von der Gültigkeit einer linearen Beziehung zwischen Dosis und Wirkung aus, so sollte eine um 10 Prozent erhöhte Strahlendosis ein um 10 Prozent erhöhtes Strahlenrisiko bedeuten. Allerdings gilt dies nicht, wenn die Form der Dosis-Wirkungskurve nicht linear ist. Ist diese nach oben (positiv) gekrümmt, so erhöht sich das Strahlenrisiko mit der Dosis überproportional.

Was spricht dafür, dass die Dosis-Wirkungsbeziehung (DWB) nicht linear ist?

Man könnte die Frage auch umdrehen und fragen, was für die Linearität der DWB spricht. Für Leukämien bei

Kleinkindern, die nach Meinung der Mehrzahl der Strahlenbiologen pränatal induziert werden, ist die Form der DWB weitgehend unbekannt. Bei einer Recherche im Internet fand ich auf der Homepage des Uniklinikums Leipzig [2] eine Abbildung, in der die in-utero-Induktion von Leukämien als teratogener Effekt bezeichnet wird (Abbildung 5). Die Form der DWB für teratogene Effekte wird in einem Strahlentherapiekurs der Universität Gießen [3] abgebildet. Sie ist durch eine Schwellendosis gekennzeichnet mit einem darauf folgenden steilen Anstieg (Abbildung 6).

Für die folgende Rechnung nehme ich an, dass die Dosis-Wirkungsbeziehung die Form einer kumulativen Lognormalverteilung mit Median 4 mSv pro Jahr und einer logarithmischen Standardabweichung von 0,5 hat (siehe Abbildung 7). Eine Lognormalverteilung folgt aus der Annahme, dass Strahlenempfindlichkeit und Strahlenbelastung in einer Bevölkerung zufallsverteilt sind (siehe dazu meinen Artikel im Strahlentelex vom November 2008 [4]). Die Lognormalverteilung ähnelt dem Verlauf der DWB für teratogene Effekte in Abbildung 6, kommt aber ohne die Annahme einer Schwellendosis aus.

### Berechnung des Strahlenrisikos

In die Berechnung des Strahlenrisikos gehen außer der Form der Dosis-Wirkungsbeziehung und dem zeitlichen Verlauf auch das Jahresmittel der radioaktiven Abgaben des KKW ein. Aus den LfU-Daten der Konzentration werden die Halbstundenwerte der Emissionen durch Multiplikation mit dem Volumenstrom der Fortluft (130.000 m<sup>3</sup> pro halbe Stunde) errechnet. Zur Umrechnung der Emissionen in Dosisenheiten wird ein Skalierungsfaktor verwendet, der sich aus dem Quotienten der angenommenen Jahresdosis

und der oben errechneten Jahresemission von 16,9 TBq ergibt. Die Dosis aus KKW-Ableitungen wird dann auf die als zeitlich konstant angenommene Rate der natürlichen Hintergrundstrahlung (1 Millisievert (mSv) pro Jahr, ohne Radonanteil) addiert. Dann

werden die halbstündlichen Dosiswerte mit Hilfe der DWB in Strahlenrisiken umgerechnet und deren jährlicher Mittelwert gebildet. Das relative Risiko ist der Quotient aus diesem Mittelwert und dem Strahlenrisiko infolge der natürlichen Hintergrundstrahlung.

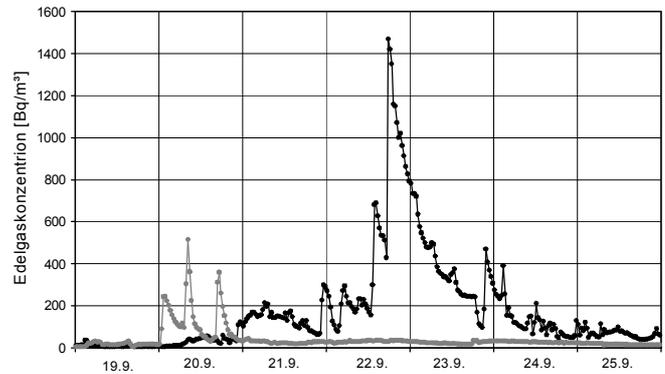


Abbildung 3: Edalgaskonzentration in der 38. Kalenderwoche 2011 (schwarze Kurve). Zum Vergleich die Edalgaskonzentration in der 26. Kalenderwoche 2010 (graue Kurve).

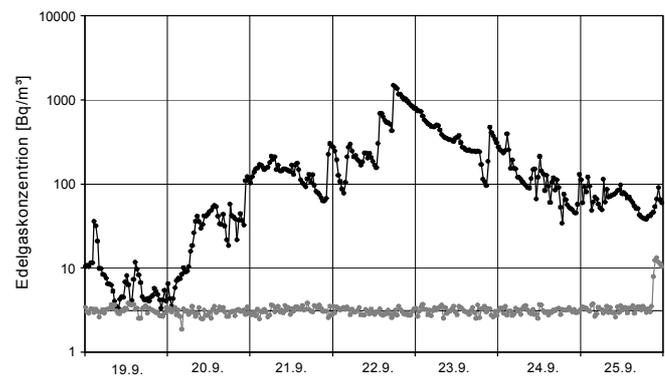


Abbildung 4: Edalgaskonzentration in der 38. Kalenderwoche (schwarze Kurve) und in der 37. Kalenderwoche 2011 (graue Kurve), halblogarithmischer Auftrag.

### STRAHLENBIOLOGIE - Teratogenes Risiko

Pränatale Induktionsphasen für Strahlenwirkungen bei der Maus

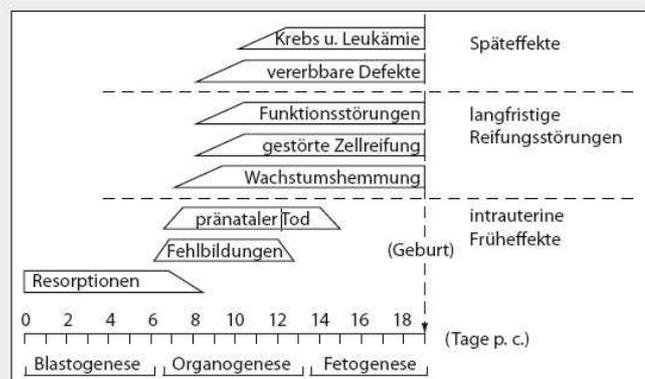


Abbildung 5: Krebs- und Leukämieinduktion werden als teratogenes Risiko bezeichnet (aus [2])

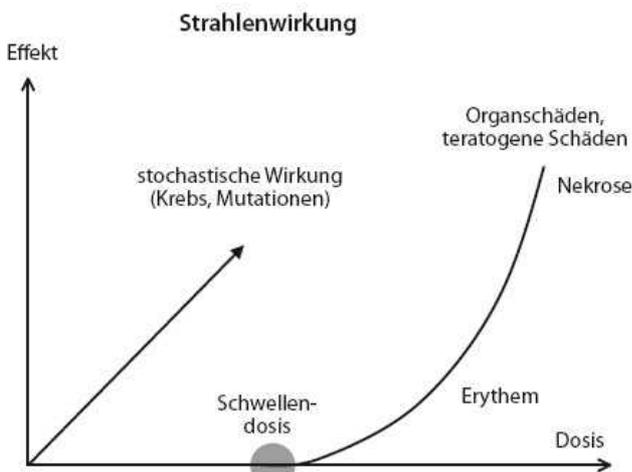


Abbildung 6: Form der Dosis-Wirkungsbeziehung für teratogene Schäden (aus [3])

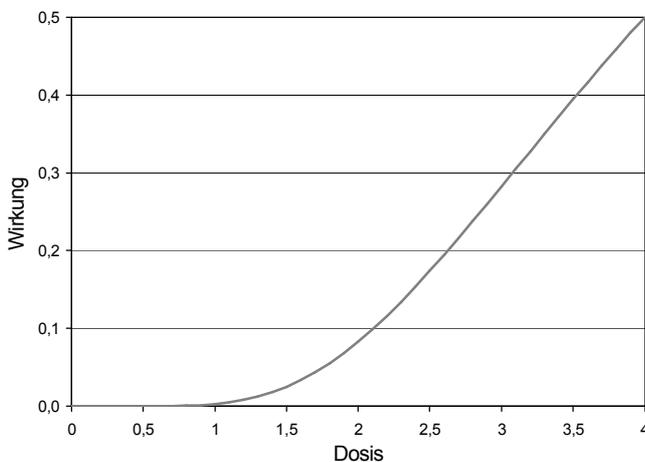


Abbildung 7: Dosis-Wirkungsbeziehung ohne Schwellendosis für teratogene Effekte

lung, also 1 mSv pro Jahr.

Wegen Zweifeln an der Richtigkeit von offiziellen Dosisberechnungen der Jahresdosis, die einige Mikrosievert ( $\mu\text{Sv}$ ) pro Jahr ergeben, wird die Jahresdosis so festgelegt, dass die Rechnung gerade eine Verdopplung des für 1 mSv ermittelten Strahlenrisikos ergibt. Dies ist für eine Jahresdosis von 45  $\mu\text{Sv}$  der Fall.

Nun sind die Berechnungen zur Strahlenbelastung durch Kernkraftwerke wegen Unsicherheiten in den Modellen und Annahmen mit großen Fehlern behaftet. Otfried Schumacher [5] und Karsten Hinrichsen [6] wiesen schon vor Jahren im strahlenbiologischen Gutachten zu Krümmel darauf hin, dass in den atmosphärischen Ausbreitungs-

rechnungen mit Hilfe der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift (AVV) sogenannte Langzeitausbreitungsfaktoren verwendet werden, welche die tatsächliche Strahlenbelastung erheblich unterschätzen, wenn man von der Annahme diskontinuierlicher Ableitungen ausgeht. Schumacher schreibt [5, S.16], dass sich „wesentlich höhere Luftkonzentrationen sowie Bewuchs- und Bodenkontaminationen bei Verwendung von Quasilangzeitausbreitungsfaktoren ergeben, welche von der realistischen Annahme einer Reihe diskontinuierlicher Ableitungen ausgehen“. Für diese wird die atmosphärische Ausbreitung aber anhand des bis zu 2 Größenordnungen größeren Kurzzeitausbreitungsfaktors berechnet.

### Zusammenfassung

Schon vor drei Jahren hatte ich die Vermutung geäußert, dass Emissionsspitzen verantwortlich sein könnten für die erhöhten Leukämieraten um Kernkraftwerke [2]. Damals lagen mir aber nur Vierteljahresdaten vor. Mit den neuen Halbstundenwerten ist eine genauere Überprüfung dieser Hypothese möglich. Die Rechnung ergibt, dass bei Annahme einer gekrümmten Form der Dosis-Wirkungsbeziehung schon eine gegenüber offiziellen Angaben 10-fach erhöhte Jahresdosis durch radioaktive Abgaben von Kernkraftwerken (45  $\mu\text{Sv}$  pro Jahr bzw. 4,5 Prozent der Hintergrundstrahlung) eine Verdopplung des Strahlenrisikos bewirkt. Eine 10-fache Erhöhung der Jahresdosis ist aber schon durch die Berücksichtigung des Einflusses diskontinuierlicher Emissionen (Verwendung des Quasilangzeitausbreitungsfaktors anstatt des Langzeitausbreitungsfaktors) erklärbar (siehe [6] S.33).

Das Ergebnis der KiKK-Studie ließe sich also damit erklären, dass die Strahlenwirkung überproportional mit der Strahlendosis ansteigt, und dass die Strahlenbelastung im Nahbereich von Kernkraftwerken durch kurzzeitige Emissionsspitzen gekennzeichnet ist.

1. Körblein A. AKW Gundremmingen: Emissionsspitzen beim Brennelementwechsel. Strahlentelex 588-589 (2011):6-8. [www.strahlentelex.de/Stx\\_11\\_588\\_S06-08.pdf](http://www.strahlentelex.de/Stx_11_588_S06-08.pdf).
2. UNIKLINIKUM LEIPZIG (2009). Kurs 3. Studienjahr/Strahlentherapie, Kursteil V Strahlenrisiko/Strahlenschutz. [http://radioonkologie.uniklinikum-leipzig.de/red\\_tools/dl\\_document.php?PHPSESSID=jio7c6ktg92np9dcsfpgmun7i2&id=23](http://radioonkologie.uniklinikum-leipzig.de/red_tools/dl_document.php?PHPSESSID=jio7c6ktg92np9dcsfpgmun7i2&id=23);
3. BAUER R. Strahlentherapie. JLU Gießen. [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)
4. Körblein A. Einfluss der Form der Dosis-Wirkungsbeziehung auf das Leukämierisiko. Strahlentelex 524-525 (2008):8-

10. [www.strahlentelex.de/Stx\\_08\\_524\\_S08-10.pdf](http://www.strahlentelex.de/Stx_08_524_S08-10.pdf).
5. Schumacher O. Zuverlässigkeit der AVV hinsichtlich der Emissionsausbreitungs-Berechnungen und Dosisermittlung. Strahlenbiologisches Gutachten, Annex C1. [www.strahlentelex.de/\\_C1\\_Zuverlaessigkeit\\_der\\_AVV\\_Schumacher\\_O.pdf](http://www.strahlentelex.de/_C1_Zuverlaessigkeit_der_AVV_Schumacher_O.pdf)
6. Hinrichsen K. Kritische Würdigung der meteorologischen Basis im Zusammenhang mit der AVV. Strahlenbiologisches Gutachten, Annex D. [www.strahlentelex.de/\\_D\\_Kritische\\_Wuerdigung\\_der\\_meteorologischen\\_Basis\\_Hinrichsen\\_K.pdf](http://www.strahlentelex.de/_D_Kritische_Wuerdigung_der_meteorologischen_Basis_Hinrichsen_K.pdf)

### Umweltradioaktivität

## Atommüll im Nordostatlantik

Im Nordostatlantik versenkte radioaktive Abfälle sollen untersucht und möglicherweise später an ihre Verursacher zurückgegeben werden. Das fordert die SPD-Fraktion in einem Antrag (Bundestagsdrucksache 17/7633 vom 08.11.2011) an die Bundesregierung. Nach international koordinierten kontinuierlichen Messungen müsse in einem Bericht erörtert werden, welche möglichen Optionen für eine Bergung oder einen sicheren Einschluß des gefährlichen Mülls bestehen.

Die Bundesrepublik versenkte 1967 ebenso wie später andere Staaten radioaktiven Abfall aus deutschen Forschungsanlagen im Nordostatlantik, schreibt die SPD. Schätzungen zufolge liegen derzeit über 220.000 Fässer mit mehr als 114.000 Tonnen schwach- und mittelradioaktivem Abfall auf dem Meeresgrund. In den Versenkungsgebieten, die auf 5.000 Meter Tiefe liegen, wurden nach einem Bericht der OSPAR-Kommission (Kommission zum Schutz und der Erhaltung des Nordostatlantiks und seiner Ressourcen) vom April 2010 erhöhte radioaktive Werte gemessen, die auf Lecks in den Fässern hinweisen könnten. Eine über