



Vorsicht, Strahlung!

Wie gefährlich ist Radioaktivität?

Nuklearia e. V.

Rainer Klute

<https://nuklearia.de/>

1. Mai 2019

Nuklearia



Strahlung: Warum ist das ein Thema?

- Strahlung und Kernenergie haben untrennbar miteinander zu tun.
- Menschen haben Angst vor Strahlung.
- Also haben Menschen Angst vor Kernenergie.
- Informationen gegen die Angst:
 - Wer mehr über Strahlung weiß, kann sie besser einschätzen und bewerten.
 - Was ist Radioaktivität? Welche Strahlungsarten gibt es?
 - Wie wirkt Strahlung auf den menschlichen Körper?
 - Was ist gefährlich? Was nicht?



Kernenergie bietet viele Vorteile

- Zuverlässige Stromversorgung, unabhängig vom Wetter (24x7)
 - Strom, wenn man ihn braucht
- Keine Schadstoffemissionen im Betrieb (im gesamten Lebenszyklus nur geringe)
- Keine CO₂-Emissionen im Betrieb (im gesamten Lebenszyklus nur geringe)
 - Kernenergie und Windkraft haben die geringsten CO₂-Emissionen.
- Kostengünstige Stromproduktion
 - Aber: hohe Investitionskosten
- Mehr als Strom: Fernwärme, Meerwasserentsalzung, synthetische Kraftstoffe, ...



**Menschen haben Angst vor
Strahlung.**



Was weißt du über Strahlung?

- »Kann man nicht sehen, kann man nicht spüren, ist irgendwie unheimlich!«
- »Führt zur Strahlenkrankheit, die in wenigen Tagen tödlich endet!«
- »Verursacht Krebs als Langzeitfolge!«
- »Schädigt das Erbgut und verursacht Mutationen!«
- »Durch die Strahlung ist Atommüll eine große Gefahr für künftige Generationen.«
- »Bei einer Röntgen-Untersuchung habe ich immer ein mulmiges Gefühl.«
- »Der Gedanke an eine Computertomographie macht mir Angst.«



Angst vor Kernenergie

- Viele Menschen wollen keine Kernkraftwerke, weil:
 - Angst vor Strahlung der Anlagen
 - Angst vor Strahlung des Atommülls
 - Angst vor Strahlung durch Nuklearunfälle
 - »Für Jahrtausende unbewohnbare Gebiete«
- Strahlenschutz und Endlagersuche treiben die Kosten der Kernenergie in die Höhe.
- Dann lieber andere Arten der Stromerzeugung!
 - Koste es, was es wolle!



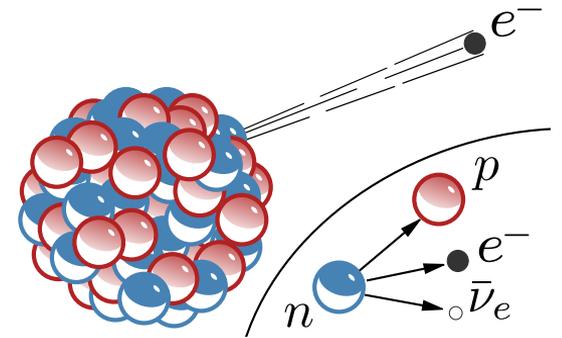
Was ist Radioaktivität?
Wie wirkt Strahlung?
Wie gefährlich ist das?



Was ist Radioaktivität?



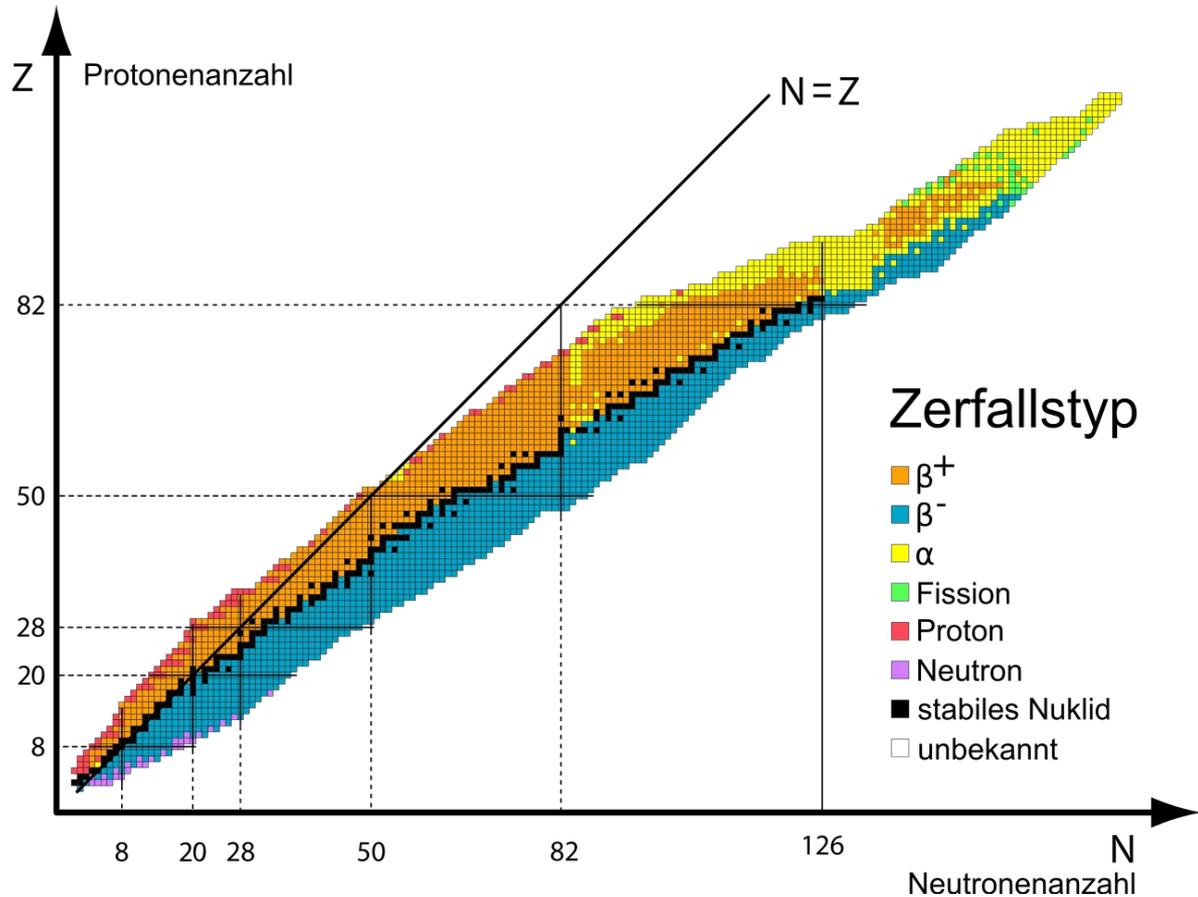
- Manche Elemente sind **instabil**. Atomkerne können **zerfallen**.
- Beim radioaktiven Zerfall entsteht **Strahlung**.
- **Halbwertszeit:** Zeit, nach der die Hälfte einer bestimmten Menge einer radioaktiven Substanz zerfallen ist.
 - Kurze Halbwertszeit = Zerfall erfolgt schnell
→ hohe Radioaktivität
 - Lange Halbwertszeit = Zerfall erfolgt langsam
→ geringe Radioaktivität



Halbwertszeit und Radioaktivität: Beispiele

- Iod-131: Halbwertszeit 8 Tage
 - In radioaktiven Freisetzungen nach Reaktorunfällen enthalten
 - Sehr kurze Halbwertszeit, sehr hohe Aktivität
 - Durch Konzentration in der Schilddrüse Gefahr von Schilddrüsenkrebs
 - Tabletten mit stabilem Iod verhindern Einlagerung von Iod-131.
- Kalium-40: Halbwertszeit 1,2 Milliarden Jahre
 - Sehr lange Halbwertszeit, sehr geringe Aktivität
 - Überall im Erdboden enthalten
 - Durch Pflanzen Bestandteil unserer Nahrung





- **Isotope:** verschiedene »Varianten« desselben chemischen Elements
- Chemisch gleichartig, aber unterschiedliche Neutronenzahl
- Jede horizontale Reihe zeigt die Isotope eines Elements.
- Viel mehr radioaktive als stabile Isotope.

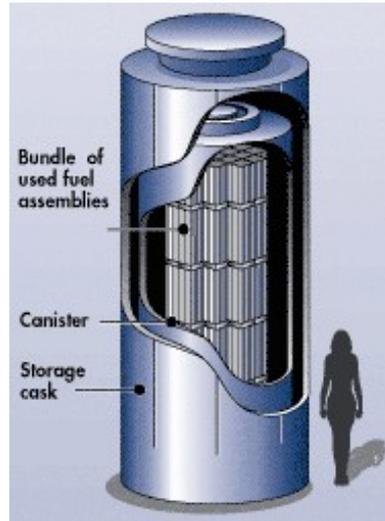


Was ist Strahlung?



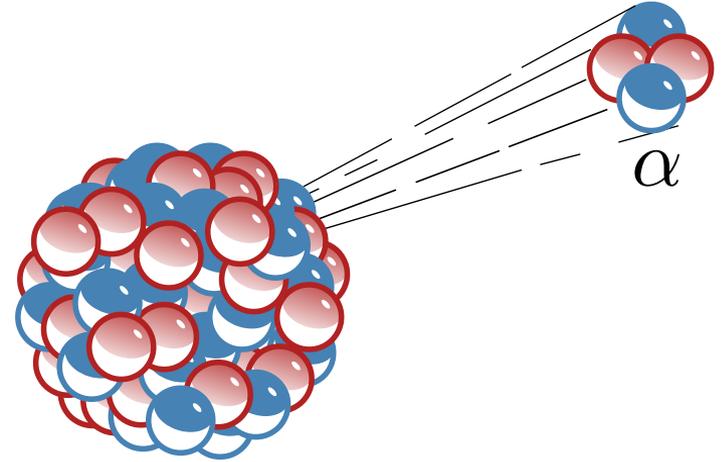
Strahlungsarten und Strahlenschutz

- Hier geht es um **ionisierende Strahlung** (umgangssprachlich: »radioaktive Strahlung«).
- Die wichtigsten Strahlungsarten:
 - **Alpha-Strahlung**
 - **Beta-Strahlung**
 - **Gamma-Strahlung**
- Schutz vor Strahlung durch:
 - **Abschirmung**
 - **Abstand**
 - **Expositionszeit**



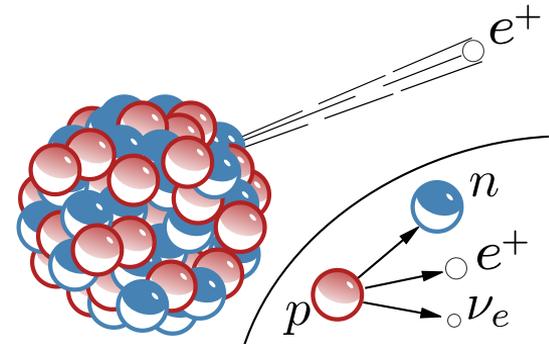
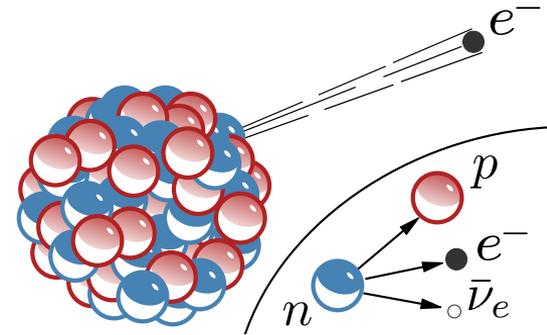
Alpha-Strahlung (α)

- Alpha-Zerfall: Mutterkern sendet **Helium-Kern (2 Protonen, 2 Neutronen)** aus.
 - Beispiel: Polonium-210 \rightarrow Blei-206 + Helium-4
- Alpha-Strahlung kann Papier nicht durchdringen, auch nicht die obersten Hautschichten .
- Ungefährlich: Alpha-Strahler außerhalb des Körpers
- Gefährlich: Alpha-Strahler innerhalb des Körpers, z.B. durch Einatmen in die Lunge gelangt
 - Alpha-Strahlung schädigt Lungenzellen.
 - Beispiel: Polonium-210 im Zigarettenrauch



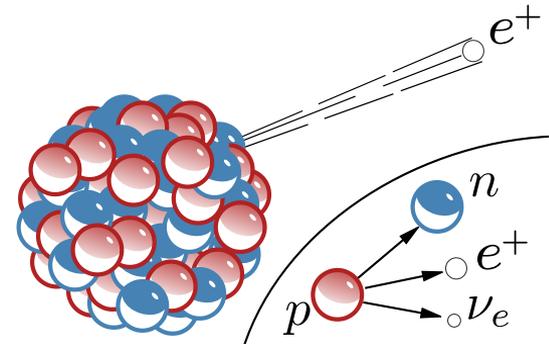
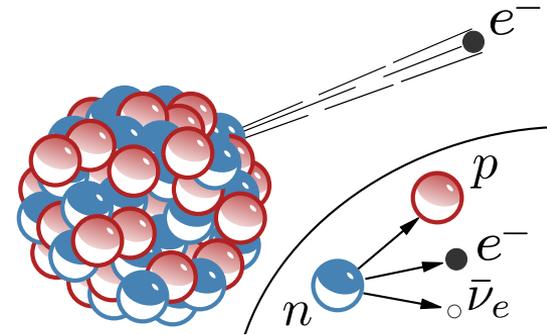
Beta-Strahlung (β^- , β^+)

- Beta-Minus-Zerfall: Ein Neutron wandelt sich um in ein Proton, ein **Elektron** und ein Antineutrino.
 - Elektron verlässt den Kern = Beta-Minus-Strahlung
 - Beispiel: Kalium-40 \rightarrow Kalzium-40 + e^-
(89 % sind β^- -Zerfälle.)
- Beta-Plus-Zerfall: Ein Proton wandelt sich um in ein Neutron, ein **Positron** und ein Neutrino.
 - Positron verlässt den Kern = Beta-Plus-Strahlung
 - Beispiel: Kalium-40 \rightarrow Argon-40 + e^+
(11 % sind β^+ -Zerfälle.)



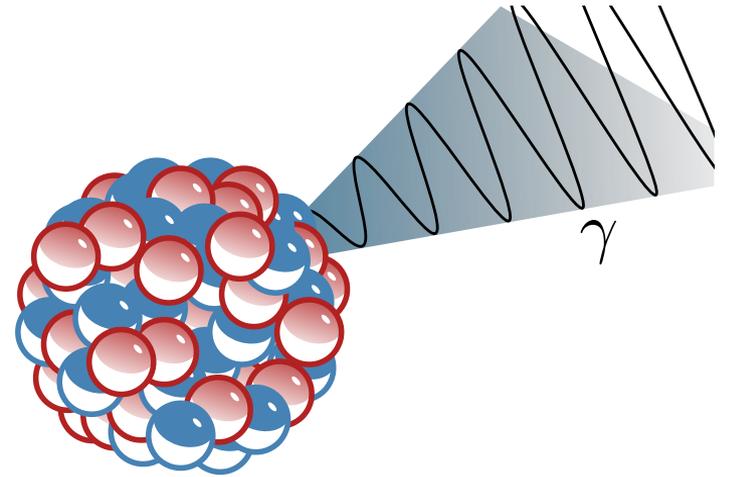
Beta-Strahlung (β^- , β^+)

- Beta-Strahlung kann dünnes Blech oder Haut nicht durchdringen, möglich sind ja aber je nach Intensität:
 - Verbrennungen, Hautkrebs, Linsentrübung
- Reichweite hängt von Energie und Material ab, in Luft typischerweise einige Zentimeter bis wenige Meter.
- Ungefährlich: Beta-Strahler außerhalb des Körpers – bei hinreichend Abstand bzw. Abschirmung
- Gefährlich: Beta-Strahler innerhalb des Körpers
 - Beispiel: Iod-131 konzentriert sich in der Schilddrüse und kann Schilddrüsenkrebs auslösen.



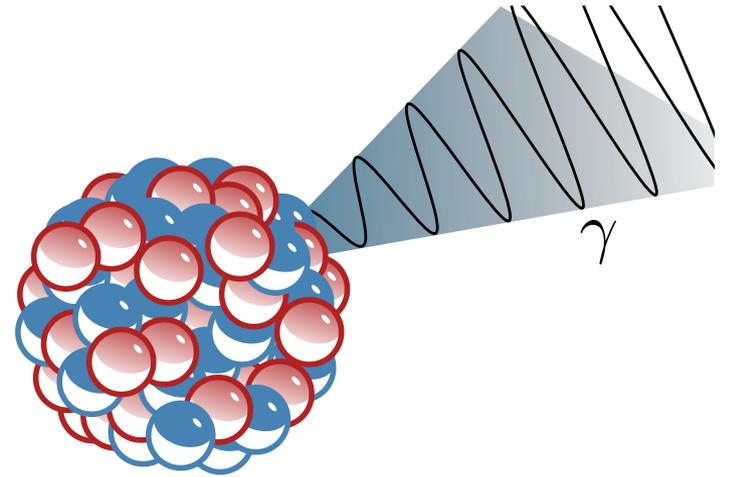
Gamma-Strahlung (γ)

- Elektromagnetische Strahlung
- Entsteht bei vielen (nicht bei allen) Alpha- und Beta-Zerfällen
- Nach Zerfall geht Tochterkern aus angeregtem Zustand in energetisch niedrigeren Zustand über. Überschüssige Energie wird als γ -Strahlung frei.
- Gegenbeispiel: Tritium-3 \rightarrow Helium-3 + e^-
 - Nur schwache β -Strahlung, keine γ -Strahlung
- Gamma-Strahlung kann Zellschäden bewirken.
 - Strahlenkrankheit, Krebs

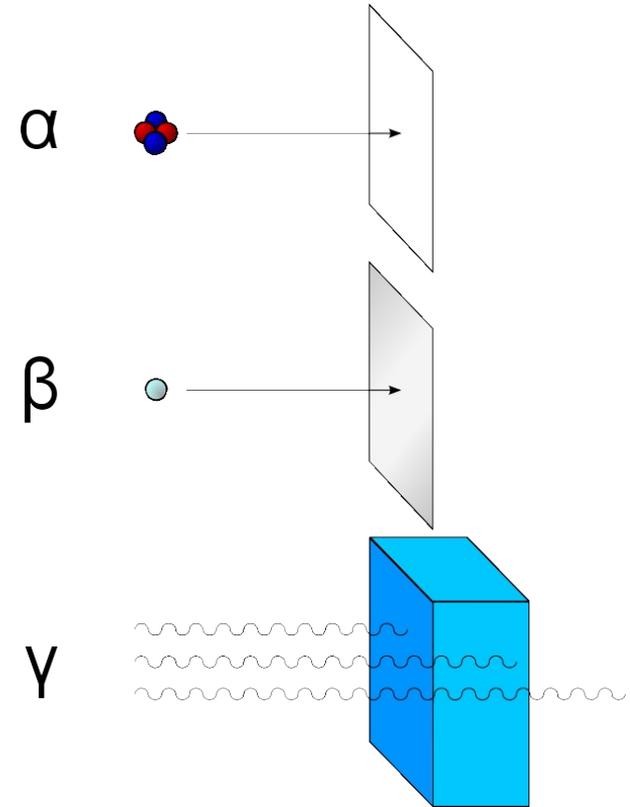


Gamma-Strahlung (γ)

- Abschirmung kann γ -Strahlung nur dämpfen.
- Keine vollständige Abschirmung wie bei α - und β -Strahlung möglich
- Halbwertsdicke = Dicke eines Materials, die die Strahlungsintensität um die Hälfte reduziert.
 - Abhängig von Material und Strahlungsenergie
 - Beispiel bei Strahlungsenergie von 1 MeV:
 - Luft: 84 Meter
 - Blei: 8,7 Millimeter
 - Wasser: 10,8 Zentimeter



- Schutz vor **α - und β -Strahlung** von außen ist durch sehr einfache **Abschirmung** möglich.
 - Papier, Blech, Plexiglas usw.
- Schutz vor **γ -Strahlung** erfordert viel mehr Aufwand.
 - Blei, Beton usw.
 - Nur Dämpfung, keine vollständige Abschirmung
- Schutz durch **Abstand**
- Schutz durch möglichst geringe **Expositionszeit**



- **Becquerel (Bq):** Anzahl radioaktiver Zerfälle pro Sekunde
 - Beispiel: Eine Banane hat etwa 15 Bq.
- **Gray (Gy):** vom Körpergewebe absorbierte Energie
 - $1 \text{ Gy} = 1000 \text{ mGy (Milligray)} = 100 \text{ rad (veraltete Einheit)}$
- **Sievert (Sv):** Auswirkung der absorbierten Energie auf den Körper
 - Abhängig von Strahlungsart und Gewebe, z.B. unterschiedliche Organe
 - Bei gleichmäßiger Gammabestrahlung des ganzen Körpers: **$1 \text{ Gy} \approx 1 \text{ Sv}$**
 - $1 \text{ Sv} = 1000 \text{ mSv (Millisievert)} = 100 \text{ rem (veraltete Einheit)}$
 - Beispiel: Eine Banane »belastet« den Körper mit einer Dosis von ca. 0,0001 mSv.



Wie wirkt Strahlung?



Wie wirkt Strahlung auf den menschlichen Körper?

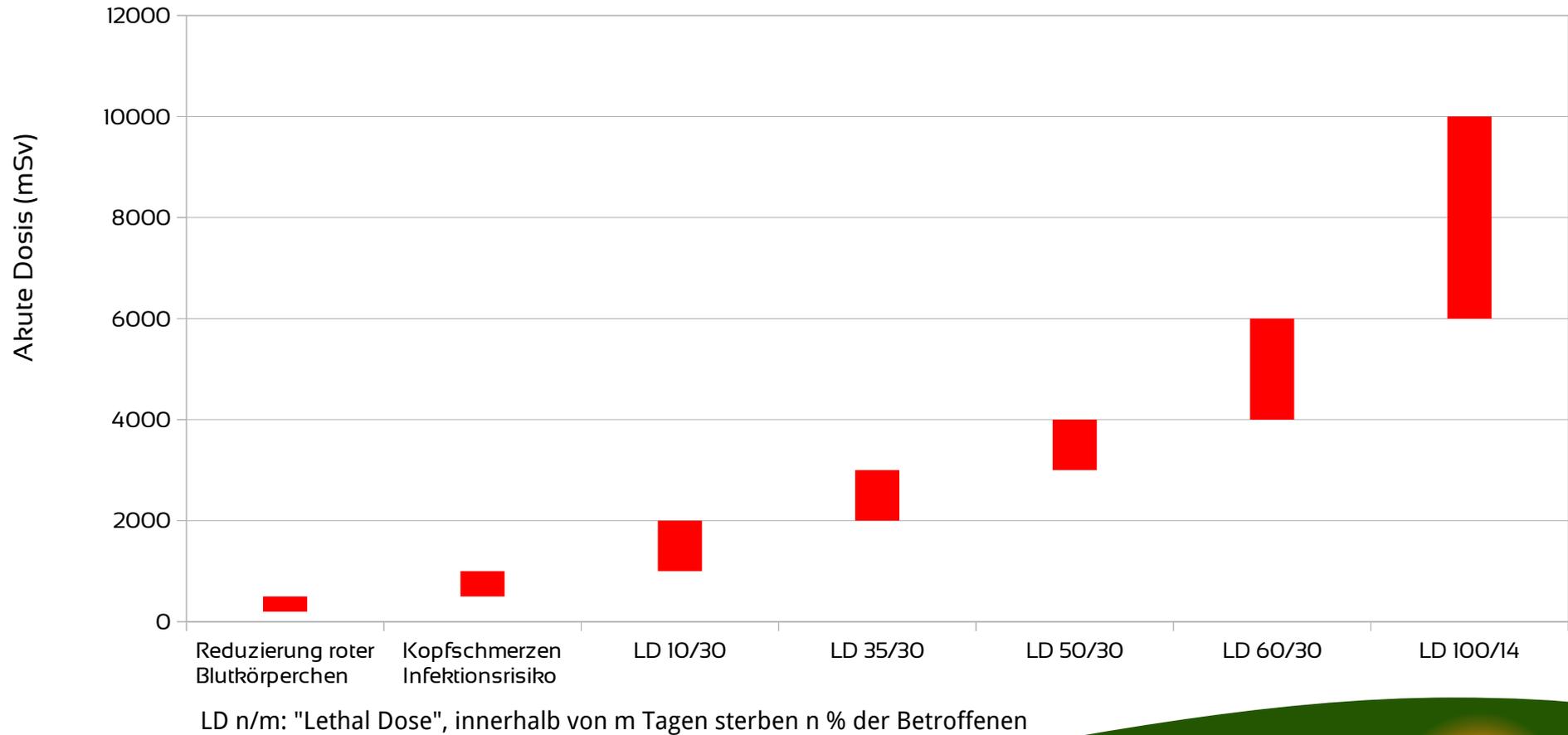
- Strahlenkrankheit
- Schädigung des Erbguts (DNA)
 - Kann zu Krebs führen



- Tritt auf nach kurzzeitiger, **hochdosierter** Bestrahlung.
- Verlauf hängt stark von der erhaltenen Strahlendosis ab.
 - Von geringen Langzeitschäden bis hin zum Tod innerhalb von Minuten
 - Hautschäden
 - Innere Blutungen
 - Veränderungen des Blutbildes
 - Schädigung der Darmschleimhaut → Darmbakterien gelangen in die Blutbahn
 - Entzündungsreaktionen, Sepsis, Tod



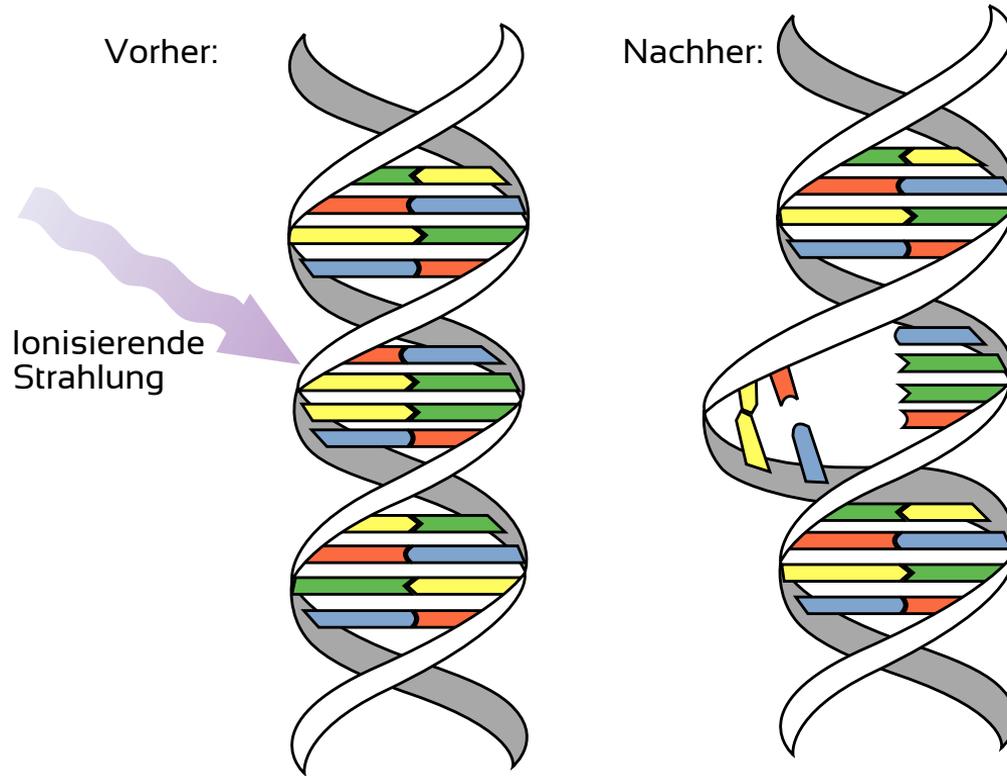
Strahlenkrankheit: Dosis und Wirkung



- Atombombenabwürfe auf Hiroshima und Nagasaki
- Tschernobyl-Unglück
 - 137 Personen durch Strahlenkrankheit betroffen
 - Davon 28 Todesfälle
- Zum Vergleich: Fukushima-Unglück
 - Sieben Mitarbeiter erhielten Strahlendosen > 200 mSv
 - Maximum: 678,8 mSv
 - Keine Fälle von Strahlenkrankheit bekannt



- Strahlung → DNS-Schädigungen → Zellmutationen → Krebs (Langzeitfolge)

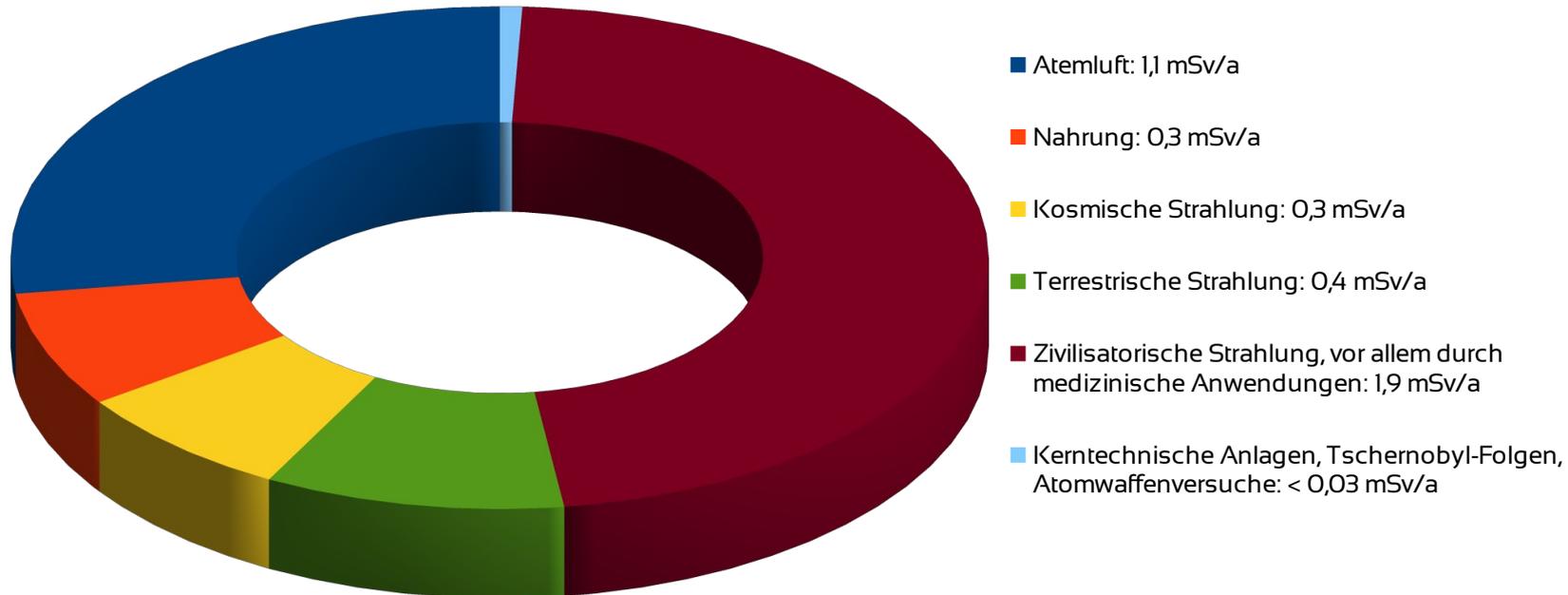


Wie gefährlich ist niedrigdosierte Strahlung?



Ein Meer von Strahlung

- Wir sind immer und überall ionisierender Strahlung ausgesetzt.
- Strahlenexposition in Deutschland im Mittel ca. 4 Millisievert pro Jahr (mSv/a):



Radioaktivität in der Atemluft

- Radon-222
- Kohlenstoff-14
- Zerfallsprodukte
- → 1,1 mSv/a



Radioaktivität in der Nahrung

- Pflanzen nehmen radioaktive Substanzen aus dem Erdboden auf.
 - Kalium-40
 - Thorium-232
 - Uran-238
 - Zerfallsprodukte
- Gelangt über die Nahrungskette auch in tierische Produkte
- Tritium im Trinkwasser
- Das wohl bekannteste radioaktive Nahrungsmittel ist die Banane.
- → 0,3 mSv/a



Radioaktivität in der Nahrung macht uns selbst radioaktiv

- Wir strahlen mit rund 100 Bq pro Kilogramm Körpergewicht.
- Schlafen neben einem anderen Menschen → 0,00005 mSv/a



Kosmische Strahlung

- Kosmische Strahlung verursacht Kernreaktionen in der Atmosphäre.
- Produziert Kohlenstoff-14 und Tritium
- Strahlung ist abhängig von Dicke der Atmosphäre.
- Niedrig am Meer, hoch im Gebirge und auf Flugreisen
- → 0,3 mSv/a



- Radioaktive Substanzen im Erdboden
 - Thorium-232
 - Uran-238
 - Zerfallsprodukte
- Unterschiedliche starke Strahlung je nach Bodenbeschaffenheit
- Radioaktive Substanzen sind entsprechend auch in Baumaterialien enthalten.
- → 0,4 mSv/a

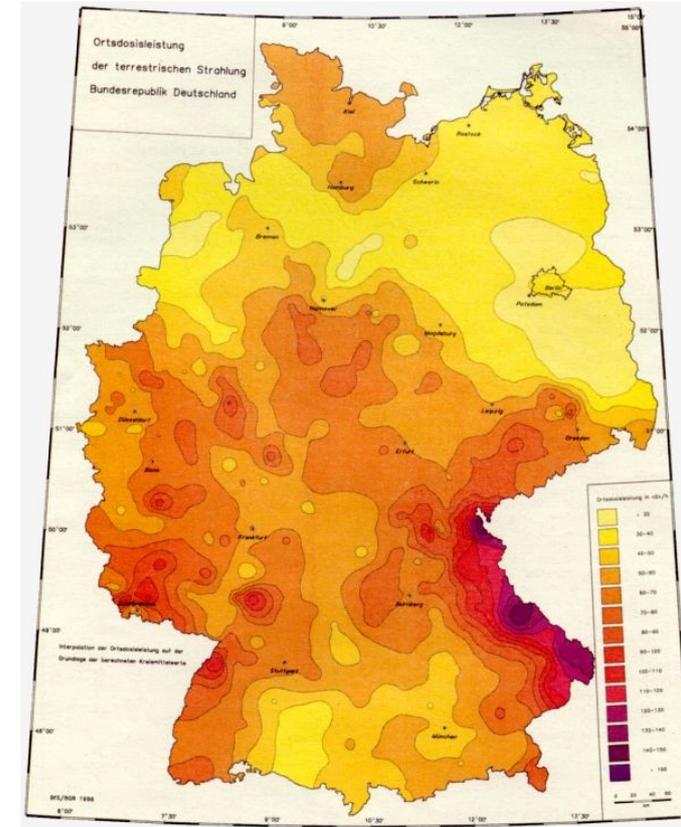


- Medizin
 - Diagnostik
 - Therapie
- Technische Anwendungen
 - Sicherheitskontrollen, Leuchtzifferblätter, Ionisationsrauchmelder
- → 1,9 mSv/a (fast ausschließlich durch medizinische Anwendungen)
- Strahlung aus kerntechnischen Anlagen, Tschernobyl-Folgen, Atomwaffenversuchen: → weniger als 0,03 mSv/a



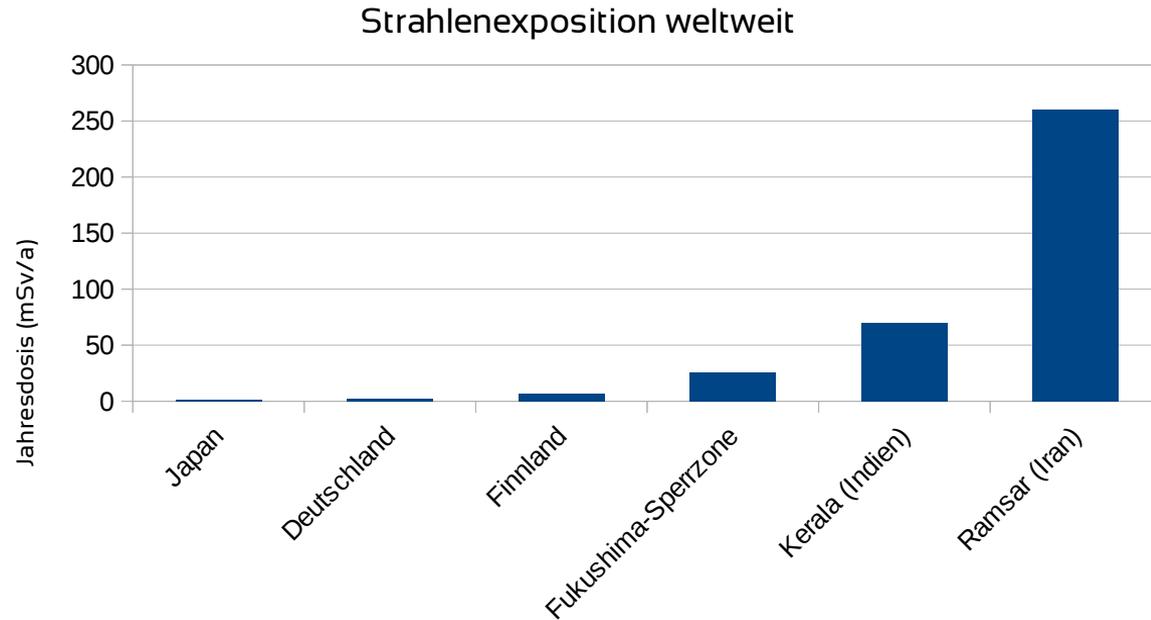
Strahlenexposition Deutschland

- Die natürliche Strahlenexposition liegt in Deutschland im Mittel bei 2,1 mSv/a.
 - Variiert zwischen 1 und 10 mSv/a
- Insgesamt sehr unterschiedlich, je nach
 - Wohnort
 - Ernährung
 - Lebensgewohnheiten
 - Strahlendiagnostik und -therapie



Strahlenexposition weltweit

- Große regionale Unterschiede
- Deutschland: **2,1** mSv/a
- Japan: **1,5** mSv/a
- Finnland: **7** mSv/a
- Fukushima-Sperrzone: **26** mSv/a
 - Große Unterschiede
- Ramsar (Iran): bis zu **260** mSv/a
- Kerala (indischer Bundesstaat): bis zu **70** mSv/a
 - Über 33 Millionen Einwohner



Beobachtungen und Fragen

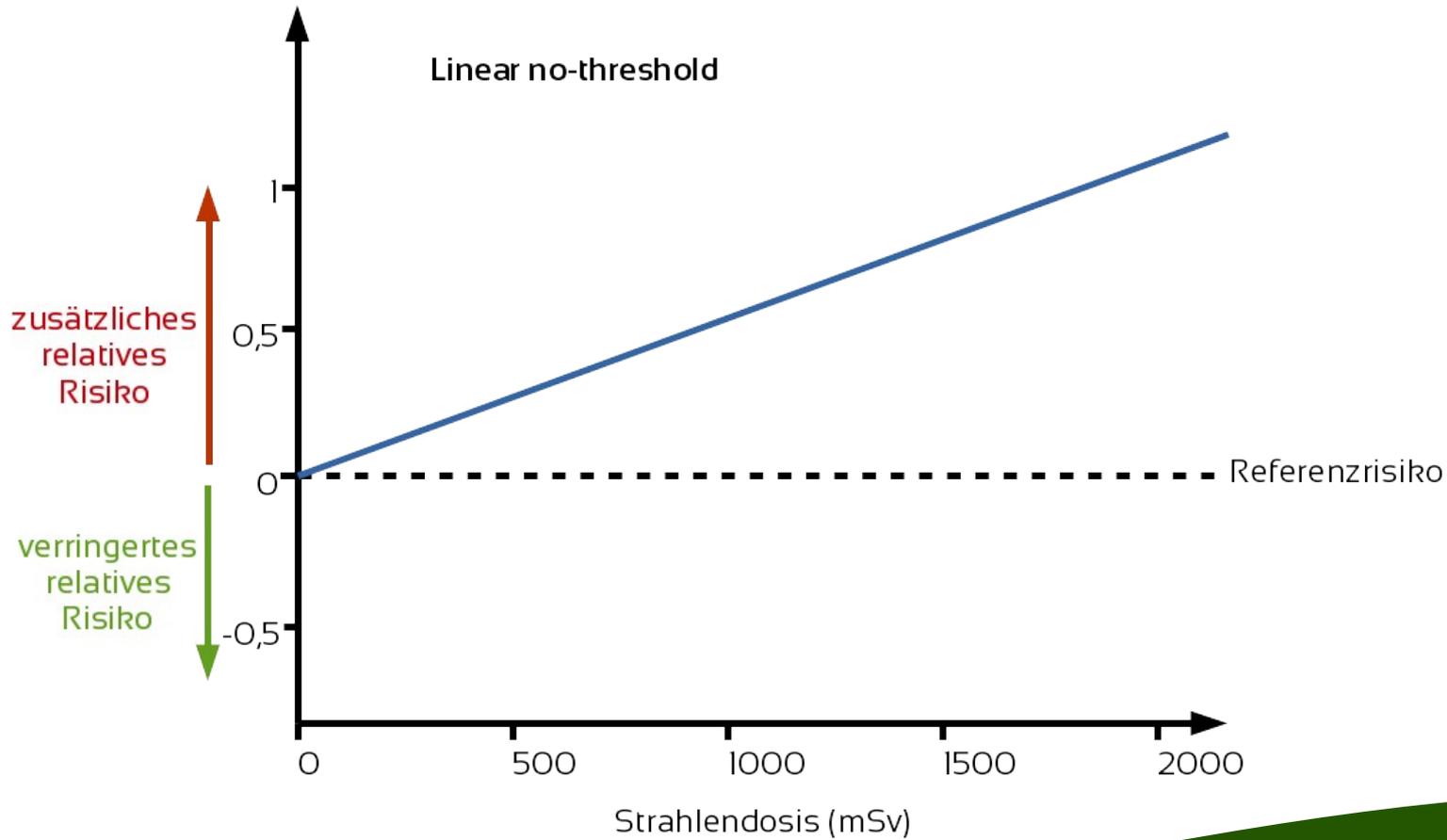
- Ramsar (bis zu 260 mSv/a):
 - Keine auffälligen Krebsraten
- Kerala (bis zu 70 mSv/a):
 - Lebenserwartung: 74 Jahre – die höchste unter allen indischen Bundesstaaten
- Warum wird Finnland (7 mSv/a) nicht evakuiert?
- Warum wird die Fukushima-Sperrzone (um die 26 mSv/a) nicht aufgehoben?
- Wie können wir den Zusammenhang zwischen Strahlung und ihren Auswirkungen verstehen?



- Welche Auswirkungen sind nach einer Aufnahme einer bestimmten Strahlendosis wahrscheinlich zu erwarten?
- Wirkungsweise:
 - Strahlung → DNS-Schäden → Zellmutationen → Krebs
- Es gibt im Wesentlichen zwei bzw. drei Dosis-Wirkungsmodelle für Strahlung:
 - **Linear no-threshold (LNT)**
 - Grundlage internationaler Strahlenschutzbestimmungen
 - **Schwellwert / Hormesis**
 - Beschreibt reale Beobachtungen besser



Linear no-threshold (LNT)



Linear no-threshold (LNT)

- Der Zusammenhang zwischen Dosis und Wirkung ist **linear**.
 - Doppelte Strahlung → doppelte Anzahl DNS-Schäden → doppeltes Risiko
- Es gibt **keinen sicheren Schwellwert** (threshold). Nur keine Strahlung ist sicher.
 - Halbe Strahlung → halbe Anzahl DNS-Schäden → halbes Risiko
- Strahlungsdosen **akkumulieren** sich.
 - Eine Strahlendosis, die ich einmal aufgenommen habe, werde ich nicht wieder los.
 - Neue Dosen kommen hinzu.
 - Begriffe wie **Jahresdosis** und **Lebensdosis** sind für LNT wichtige Größen.
- **ALARA**: As low as reasonably achievable



- Die **Dosisleistung** spielt bei LNT keine Rolle.
 - Dosisleistung: Dosis pro Zeiteinheit
 - Wie schnell nehme ich die Dosis auf?
 - Erfolgt die Aufnahme von z.B. 500 mSv in 10 Sekunden oder in 10 Monaten? Laut LNT ist das gleichgültig.
- LNT kümmert sich nur um den Anfang der Wirkungskette.
 - Strahlung verursacht DNA-Schädigung.
 - Was passiert danach?
- Reale Beobachtungen lassen das LNT-Modell fragwürdig erscheinen.



- **Hermann Joseph Muller** erhielt 1946 den Nobelpreis für Medizin für die Entdeckung der Auslösung von Mutationen durch Röntgenstrahlung.
- Muller propagierte in seiner Nobelpreisrede einen linearen Zusammenhang zwischen Dosis und Wirkung – und zwar **ohne Schwellwert**.
 - *"... no escape from the conclusion that **there is no threshold**"*
- Er tat dies **wider besseres Wissen!**



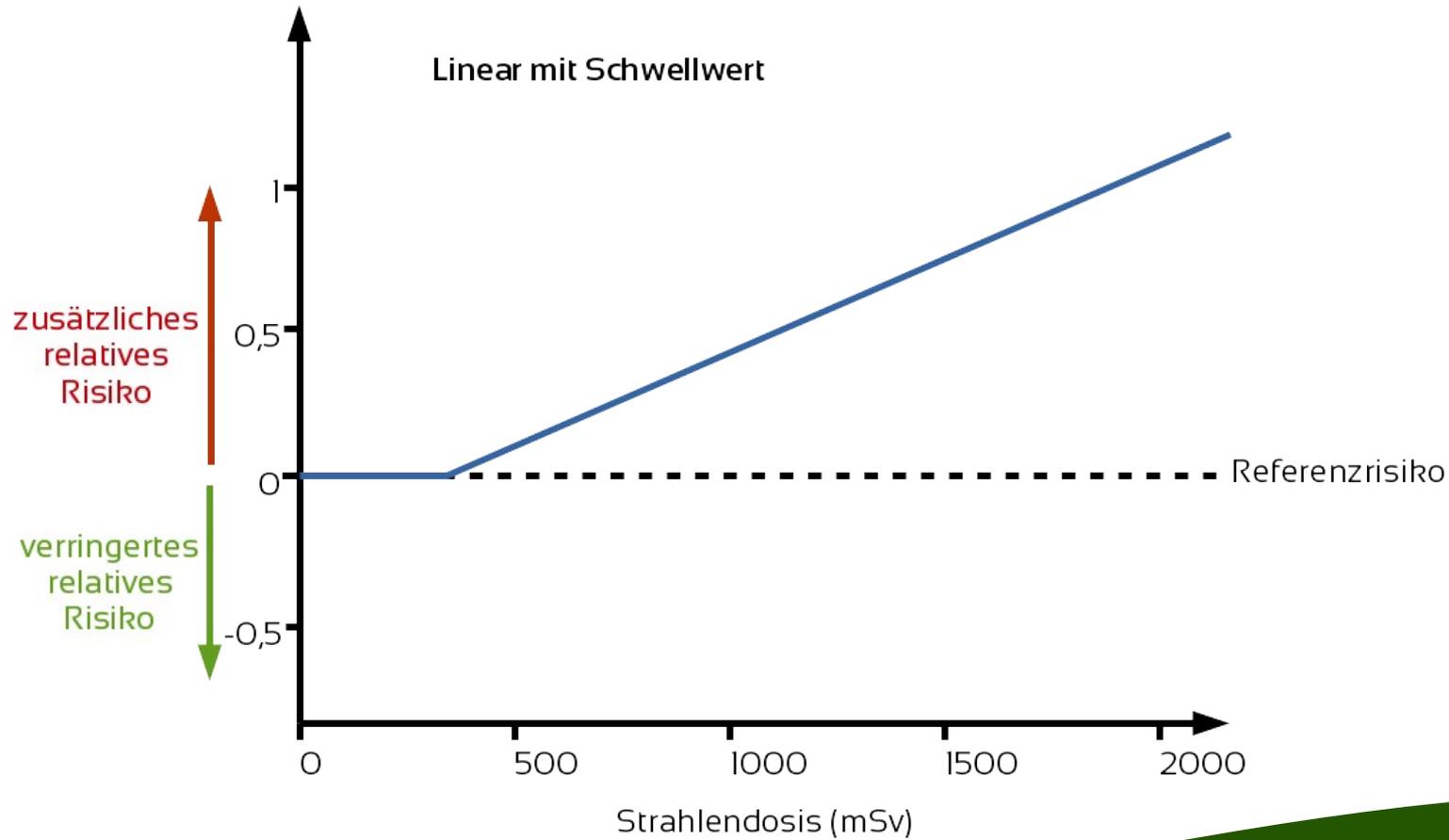
- Muller erkannte bei der Bestrahlung von Fruchtfliegen einen linearen Zusammenhang zwischen Dosis und Mutationsrate – allerdings bei **hohen Dosen** von mehr als 2.700 mGy.
- **Curt Stern** und **Ernst Caspari** bestrahlten Fruchtfliegen mit **niedrigen Dosen**.
 - Ihre Ergebnisse widersprachen denen von Muller.
 - Kein linearer Zusammenhang zwischen Dosis und Mutationsraten bei niedrigen Strahlendosen
- Muller wusste davon.
 - Er hatte Casparis und Sterns Aufsatz fünf Wochen vor seiner Nobelpreisrede als signifikant bezeichnet.



- In seiner Nobelpreisrede blieb Muller beim linearen Modell ohne Schwellwert.
 - Die Forschung von Stern und Caspari verschwieg Muller – wider besseres Wissen.
- Mullers Einsatz und seine Autorität machten LNT zum Standardmodell für Dosis-Wirkung-Beziehungen.
 - Bestrahlung von Keimzellen, später auch normale Zellen und Krebszellen
 - Chemikalien
- Gravierende Auswirkungen auf Strahlenschutz, Medizin, öffentliche Wahrnehmung von Kernenergie usw.
- Aufgedeckt **2011** von **Edward J. Calabrese** anhand von Briefen und Aufzeichnungen, die zuvor als Verschlusssache eingestuft waren



Schwellwert-Modell



- Bei **hohen** Strahlendosen:
 - linearer Zusammenhang zwischen Dosis und Schadwirkung.
- Bei **niedrigen** Strahlendosen:
 - keine Wirkung
- Modell berücksichtigt Reparaturmechanismen der Zellen und des Körpers.
 - DNA-Reparatur (Chemie-Nobelpreis **2015**)
 - Programmierter Zelltod (Apoptose)
 - Bystander-Effekt

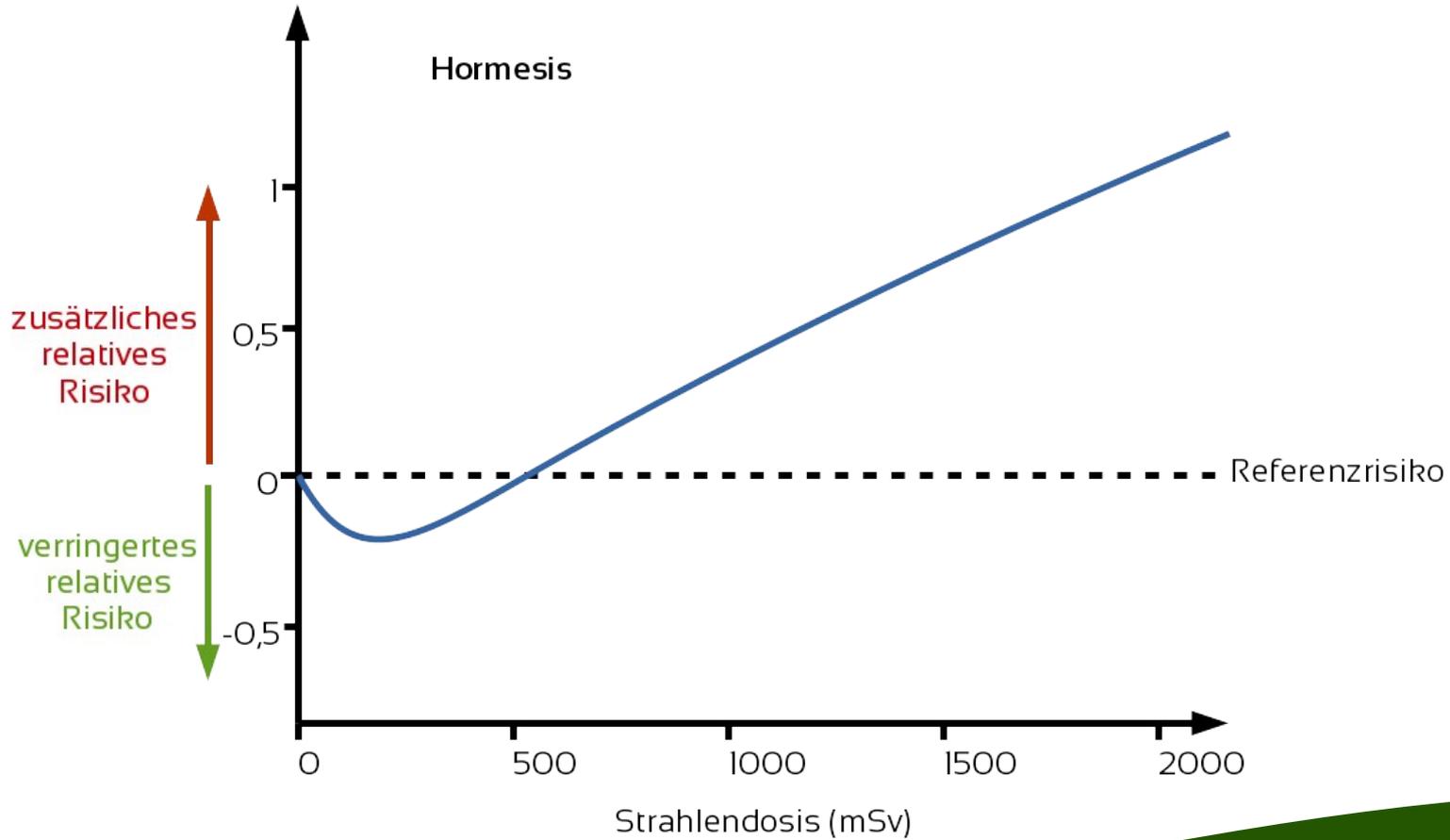


- Strahlungsdosen akkumulieren sich **nicht**.
 - Weil und soweit Schäden repariert werden
- Dosisleistung (Dosis pro Zeiteinheit) spielt eine wichtige Rolle.
 - Die Wirkung von z.B. 500 mSv in 10 Sekunden ist völlig anders als die derselben Dosis über 10 Monate verteilt.
 - Vergleich: Die Wirkung eines Sprungs aus dem Fenster der 6. Etage ist völlig anders als eine Reihe von Sprüngen von einer Treppenstufe zur nächsten.
 - Vergleich: 6 l Wasser auf einmal zu trinken, ist tödlich. Über mehrere Tage verteilt, ist diese Dosis nicht nur unschädlich, sondern lebensnotwendig.



- Bei niedriger Dosisleistung können Reparaturmechanismen mit neu verursachten Strahlenschäden mithalten.
- Bei höherer Dosisleistung die Reparaturmechanismen die Schäden nicht mehr so schnell reparieren, wie sie entstehen. → Krankheit, z.B. Tumor
- Übrigens:
 - Jede Zelle erlebt täglich mindestens 10.000 DNA-Schäden allein durch Stoffwechselfvorgänge, also ohne Einwirkung von außen, z.B. Strahlung.
 - Durch 1050 mSv/a (250-fache der Strahlenexposition in Deutschland) kommt bei Mäusen ein Dutzend DNA-Schäden hinzu (MIT, 2012)
 - Beim Menschen wohl weniger





- Niedrige Strahlendosen regen die Reparaturmechanismen des Körpers an.
- Verbesserte Leistung des Immunsystems insgesamt
- Positiver gesundheitlicher Effekt
- In einer niedrig bestrahlten Gruppe sind weniger Krebsfälle zu erwarten als in einer unbestrahlten.



Was stimmt denn nun?



Welches Modell ist das richtige?

- Wie kann man das herausfinden?
- Epidemiologische Studien
 - Größere Anzahl von Versuchspersonen unter kontrollierten Bedingungen unterschiedlich starker Strahlung aussetzen und Auswirkungen analysieren.
 - Verbietet sich aus ethischen Gründen
 - Auch für das etablierte LNT-Modell steht der epidemiologische Nachweis aus!
- Tierversuche
- Beobachtungen
 - Wo wurde eine größere Anzahl von Menschen ionisierender Strahlung ausgesetzt?



Krebs bei Atombomben-Überlebenden in Japan

- Wer nicht durch Hitze und Druck der Explosion ums Leben kam, wurde unterschiedlich starker Strahlung ausgesetzt.
 - Von unter 5 mSv bis über 2.000 mSv in kurzer Zeit
- **Radiation Effects Research Foundation (RERF)** untersucht Strahlungsfolgen
 - 1950 bis heute
 - 120.000 Teilnehmer
- Krebsraten im Bereich 300 – 700 mGy **niedriger** als gemäß LNT zu erwarten.
 - Mit jüngsten Daten (1950 – 2003) statistisch signifikant [Ozasa et. al., 2012]
- LNT kann sinkende Krebsrate bei steigender Strahlung **nicht erklären**.



Cobalt-60-Ereignis in Taiwan

- 1982 – 1984 wurden in Taiwan über 180 Gebäude errichtet mit über 1.600 Wohnungen, Schulen und Geschäften
- Baustahl war unbemerkt mit radioaktivem Cobalt-60 kontaminiert.
 - Halbwertszeit 5,3 Jahre → nicht unerhebliche Radioaktivität
 - Nach und nach Entdeckung der Radioaktivität von 1992 bis 1998
- Rund 10.000 Menschen wurden über 9 – 22 Jahre hinweg bestrahlt.



- 1983 (1 Jahr)
 - Durchschnittliche Dosis: 49 mSv
 - Maximale Dosis: 600 mSv
- 1983 – 2003 (20 Jahre):
 - Durchschnittliche Dosis: 400 mSv
 - Maximale Dosis: 6.000 mSv
- Nach dem LNT-Modell wäre eine erhöhte Krebsinzidenz zu erwarten gewesen.
- Tatsächliche Krebsinzidenz **sank** weit unter die der allgemeinen Bevölkerung.
- Das LNT-Modell kann das nicht erklären, das Hormesis-Modell schon.



Niedrig dosierte Halb- und Ganzkörperbestrahlung

- Kiyokiho Sakamoto, Radiologe, Prof. em.
- 2001 – 2012 Vorsitzender des Radiological Science Centers an der Tohoku University, Sendai, Japan
- Ab 1975: Experimente mit Mäusen
 - Fragestellung: Welche Strahlendosis muss ich mindestens anwenden, um die Immunantwort zu unterdrücken?
 - Immunantwort: Reaktion des Immunsystems auf fremde Organismen oder Substanzen
 - Überraschung: Bestrahlung mit niedrigen Dosen (100 – 150 mGy) verschlechterte die Immunantwort nicht, sondern **verbesserte** sie.



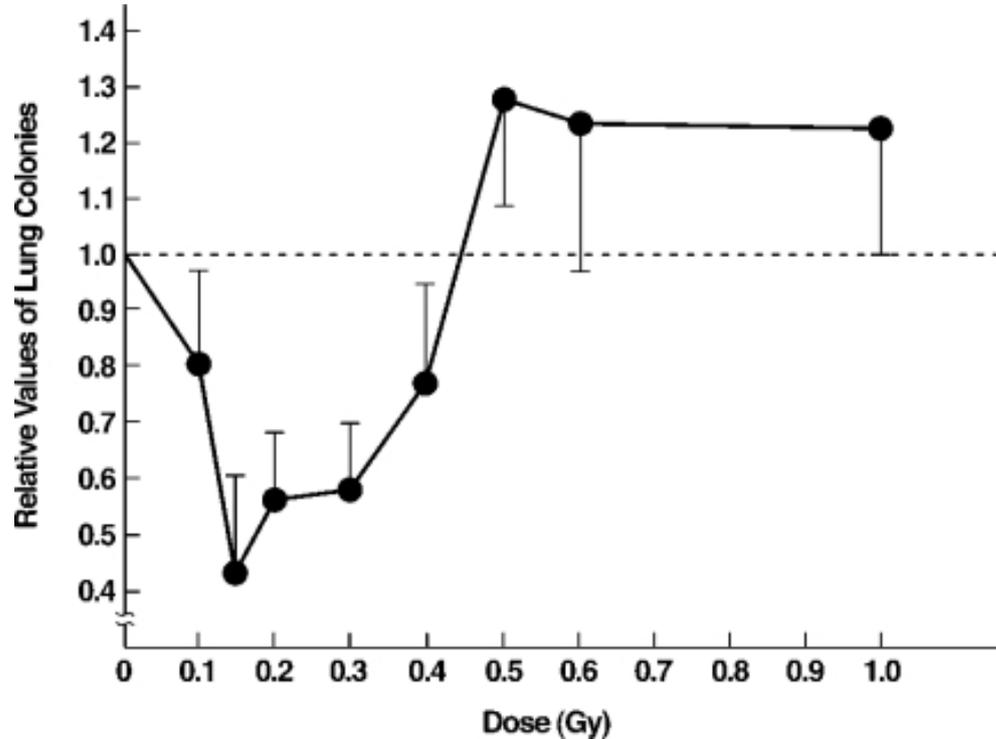
Niedrig dosierte Halb- und Ganzkörperbestrahlung

- 1985 – 2000: klinische Studien mit niedrig dosierter Halb- und Ganzkörperbestrahlung
 - 200 Krebspatienten
 - 10 x 150 mGy = 1.500 mGy über 5 Wochen verteilt
- Ziele: Krebs heilen, Wiederauftreten von Krebs verhindern
- Gute Ergebnisse bei Kombination:
 - Hochdosierte Strahlung gegen lokale Tumore
 - Ganzkörperbestrahlung gegen Metastasen



Niedrig dosierte Halb- und Ganzkörperbestrahlung

- Ergebnis einer von Sakamotos Studien: Lungen-Metastasen in Abhängigkeit von Ganzkörperdosis



Zum Mitnehmen



- **Die Folgen von Strahlung werden durchweg MASSIV überschätzt.**
 - Gleichgültig, von welchem Dosis-Wirkungsmodell man ausgeht
 - Heute weiß man sehr viel mehr über Strahlenwirkung als noch vor 20 Jahren.
 - Aus welcher Zeit stammt dein Wissen über Strahlung?
 - Strahlenbiologen: keine Krebserkrankungen durch akute Effektivdosis von 100 mSv
 - Erst recht nicht, wenn die Bestrahlung sich über längere Zeit verteilt
- **Strahlung unter 100 mSv pro Jahr ist unbedenklich.**
 - Zum Vergleich: Menschen in Fukushima bei max. 35 mSv im ersten Jahr
 - Bei Berichten über Vorfälle mit Radioaktivität nach konkreten Messwerten fragen, um die Situation besser beurteilen zu können!



- Jährlichen Dosisgrenzwert für Einzelpersonen der allgemeinen Bevölkerung von heute 1 mSv/a auf **100 mSv/a** heraufsetzen
- Übertriebene Strahlenschutzmaßnahmen nützen nicht nur nichts, sie schaden!
 - 1.600 Tote durch Evakuierungen in Fukushima – bei 0 Strahlentoten
 - Kosten: Geld vieler Strahlenschutzmaßnahmen könnten sinnvoller anderswo verwendet werden.
- Erste Schritte in den USA: Umweltbehörde EPA hält 50 – 100 mSv für unbedenklich.
- Positive gesundheitliche Aspekte durch Hormesis berücksichtigen!
- Forschung nötig



- Medizin
 - Mediziner warnen: Angst vor Strahlendiagnostik und -therapie richtet mehr Schaden als Nutzen an.
 - Erheblich entspannterer Umgang mit nuklearmedizinischen Anwendungen möglich
 - Hormesis: klinischer Einsatz von Niedrigstrahlung in Krebstherapie und Prävention



- Kernenergie
 - Kenntnisse über Strahlung und Strahlungswirkung verbessern Akzeptanz der Kernenergie.
 - Im Betrieb
 - Bei Unfällen
 - Hormesis: geringere Kosten möglich





»Man braucht nichts im Leben zu fürchten, man muss es nur verstehen. Jetzt ist die Zeit, mehr zu verstehen, damit wir uns weniger fürchten.«
(Marie Curie)



- **Website:**
 - <http://nuklearia.de/>
- **Twitter:**
 - @Nuklearia
- **Facebook:**
 - <https://www.facebook.com/Nuklearia>
- **Mitmachen**
 - <http://nuklearia.de/verein/mitmachen/>



- **The Production of Mutations**, Hermann J. Muller, Nobel Lecture, 1946-12-12, https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1946/muller-lecture.html
- **UMass Amherst Researcher Points to Suppression of Evidence on Radiation Effects by 1946 Nobel Laureate**, University of Massachusetts Amherst, 2011-09-20, <https://www.umass.edu/newsoffice/article/umass-amherst-researcher-points-suppression-evidence-radiation-effects-1946-nobel-laureate>



- **Chemie-Nobelpreis: Wie Zellen Schäden ihrer DNA reparieren**, Tanja Volz, Stuttgarter Zeitung, 2015-10-07, <http://www.stuttgarter-zeitung.de/inhalt.chemie-nobelpreis-wie-zellen-schaeden-ihrer-dna-reparieren.de9a2d19-0d34-4ae4-bb50-bf5f663ec623.html>
- **A new look at prolonged radiation exposure – MIT study suggests that at low dose-rate, radiation poses little risk to DNA**, Anne Trafton, MIT News Office, 2012-05-15, <http://news.mit.edu/2012/prolonged-radiation-exposure-0515>



- **Studies of the Mortality of Atomic Bomb Survivors, Report 14, 1950–2003: An Overview of Cancer and Noncancer Diseases**, Kotaro Ozasa et. al., Radiation Research, 2012, http://www.rerf.jp/library/rr_e/rr1104.pdf
- **Linear No-Threshold Model VS. Radiation Hormesis**, Mohan Doss, Dose Response, 2013-05-24, <http://journals.sagepub.com/doi/10.2203/dose-response.13-005.Doss>



- **Effects of Cobalt-60 Exposure on Health of Taiwan Residents Suggest New Approach Needed in Radiation Protection**, W. L. Chen et. al., Dose Response 2007 (published online 2006-08-25), <http://journals.sagepub.com/doi/10.2203/dose-response.06-105.Chen>
- **Cancer risks in a population with prolonged low dose-rate γ -radiation exposure in radiocontaminated buildings, 1983 – 2002**, Su-Lun Hwang et. al., International Journal of Radiation Biology, 2006-10-18 (published online 2009-07-03), <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09553000601085980>



- **Estimates of Relative Risks for Cancers in a Population after Prolonged Low-Dose-Rate Radiation Exposure: A Follow-up Assessment from 1983 to 2005**, Su-Lun Hwang et. al., Radiation Research, 2008-04-21, <http://www.bioone.org/doi/10.1667/RR0732.1>
- **An Analysis of Irradiated Taiwan Apartment Residents' Cancer Incidence Data**, Mohan Doss, 2013-09-10, <http://taiwan-apt-cancer-data-analysis.blogspot.de/>



- **ODL-Info – Radioaktivität in Deutschland**, Bundesamt für Strahlenschutz, <http://odlinfo.bfs.de/DE/themen/wo-stehen-die-sonden/messstellen-in-deutschland.html>
- **Wie hoch ist die natürliche Strahlenbelastung in Deutschland?**, Bundesamt für Strahlenschutz, http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/natuerliche-strahlenbelastung/natuerliche-strahlenbelastung_node.html
- **Gesundheit: Neue App zeigt Vielfliegern ihre Strahlenbelastung**, Norbert Lossau, Die Welt, 2015-05-26, <https://www.welt.de/gesundheit/article141486850/Neue-App-zeigt-Vielfliegern-ihre-Strahlenbelastung.html>



- **Radiobiological Basis for Cancer Therapy by Total or Half-Body Irradiation**, Kiyohiko Sakamoto, Dose-Response, 2004-10-01, <http://journals.sagepub.com/doi/10.1080/15401420490900254>
- **Low-level radiation and its implications for Fukushima recovery**, Kiyohiko Sakamoto, 2012-06-24, Vortrag beim American Nuclear Society Annual Meeting, http://atomicinsights.com/wp-content/uploads/Sakamoto-2012_ANSconf-June23.pdf



- **Dosisgrenzwerte im Strahlenschutz**, Bundesamt für Strahlenschutz, <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/strahlenschutz/grenzwerte/grenzwerte.html>
- **Strahlung – ein Blick auf die Fakten**, Nuklearia, 2015, <http://nuklearia.de/strahlung/>

