



## Strahlenbiologie und Strahlenrisiko

Es ist seit langem bekannt, dass ionisierende Strahlung das Risiko für Krebserkrankungen erhöht. Die strahlenbiologische Forschung hat dazu beigetragen, die Mechanismen der Strahlenwirkung aufzuklären und besser zu verstehen. In Ergänzung dazu wird auf statistischem Wege erhoben, wie stark das Risiko für Krebserkrankungen abhängig von der Dosis ansteigt (epidemiologische Studien). Damit ist die für Risikoabschätzungen wichtige Aussage möglich, welches Krebsrisiko für eine bestimmte Dosis zu erwarten ist.

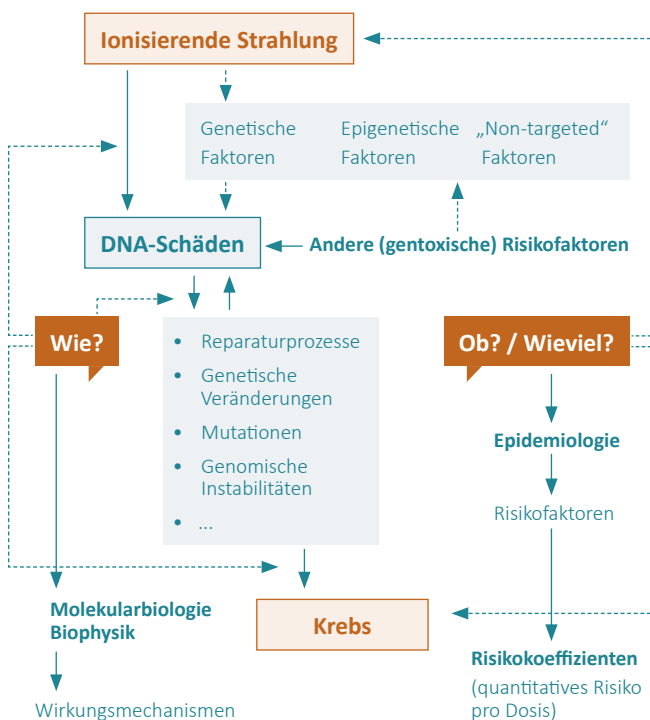
### Strahlenbiologie

Ionisierende Strahlung kann menschliche Zellen durch verschiedene Prozesse schädigen, wie aus **molekular- und zellbiologischen Untersuchungen** bekannt ist. Viele dieser Effekte haben ihren Anfangspunkt bei strahlenverursachten **Veränderungen an der DNA** (z.B. DNA-Doppelstrangbrüche). In der Folge dieses primären Strahlenschadens kann es zu einer Vielzahl von molekularen und zellulären Folgeprozessen kommen, die den weiteren Schadensverlauf für die Zelle, den Zellverband oder für den gesamten Organismus bestimmen (Abb. 1).

Über **Reparaturprozesse** kann die Zelle Strahlenschäden beseitigen oder, nach gescheiterter oder unvollständiger Reparatur, über programmierten Zelltod (Apoptose) zugrunde gehen. Versagt dieser Mechanismus, zum Beispiel bei **Fehlreparatur**, können sich Schäden auch dauerhaft im genetischen Material manifestieren und unter anderem zu **Mutationen** führen, auch mit Auswirkung auf die Funktion der Zelle.

Die **Mechanismen** und die **Dosis-Wirkungszusammenhänge** dieser molekularen und zellulären Einzeleffekte sind Gegenstand aktueller Forschung, wobei die Mehrzahl aller Studien bei mittleren bis hohen Strahldosen durchgeführt werden. Für die Entstehung von DNA-Doppelstrangbrüchen und deren Reparatur sind jedoch auch Aussagen im niedrigen Dosisbereich von einigen mSv möglich.

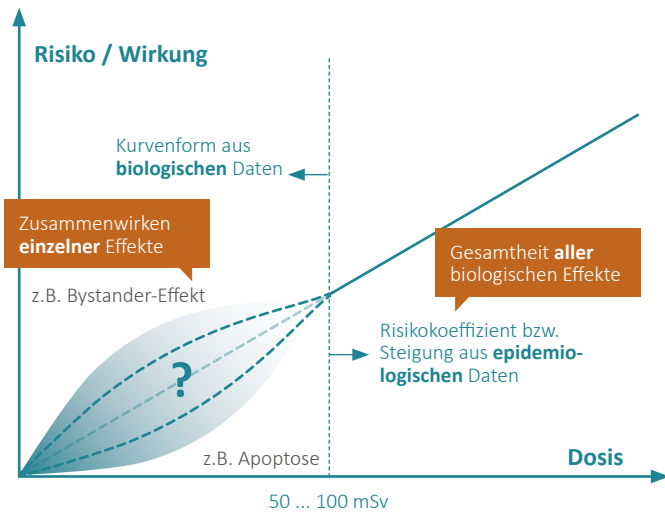
Das **Zusammenwirken** all dieser Einzeleffekte innerhalb eines Gesamtprozesses, der z. B. auch in einer Krebsentstehung münden kann, ist jedoch weitaus schwieriger zu untersuchen. Im Bereich niedriger Dosen ist es bisher nicht gelungen, mit biologischen Methoden für den **Gesamtprozess** einen ursächlichen



◀ **Abb. 1: Ebenen der Wirkung ionisierender Strahlung**

Ionisierende Strahlung wirkt über verschiedene Effekte schädigend auf die DNA. Genetische Faktoren betreffen vor allem Veränderungen an der Struktur der DNA. Epigenetische Faktoren sind Veränderungen, die die Steuerung des „Ableseprozesses“ der DNA beeinflussen und unter „non-targeted“ Faktoren versteht man indirekte Effekte, deren primäre Ursache außerhalb der Zelle oder des Zellkerns stattfindet. DNA-Schäden lösen Reaktionen aus (z.B. Reparaturprozesse), die in einer Reihe möglicher Folgeprozesse Veränderungen (z.B. Mutationen) bewirken, die eine Entwicklung der Zelle zu einer Krebszelle zur Folge haben können. Molekularbiologische und biophysikalische Studien gehen der Frage nach, „wie“ diese Prozesse ablaufen und können damit die zugrundeliegenden Wirkungsmechanismen aufklären. Die Strahlenepidemiologie widmet sich der Frage nach dem „Wieviel“ und hat zum Ziel, das mit Strahlung verbundene Risiko zu quantifizieren.

Zusammenhang zwischen Dosis und Krebsentwicklung zu belegen. Auf der Grundlage biologisch-mechanistischer Studien kann zwar begründet werden, dass eine Strahlenexposition zu einer **Erhöhung des Krebsrisikos** führt, nicht aber wie groß dieses Risiko ist (Abb. 2).



**Abb. 2: Prinzip einer Dosis-Wirkungsbeziehung**

Einzelne molekulare und zelluläre Effekte können unterschiedliche, häufig nicht-lineare Dosis-Wirkungszusammenhänge aufweisen. Deren Zusammenwirken in einem Prozess der Krebsentstehung ist in der Regel nicht bekannt, so dass daraus insbesondere für den Bereich kleiner Dosiswerte nur schwer Aussagen zum Risiko zu treffen sind. Oberhalb von etwa 50 bis 100 mSv können aus epidemiologischen Daten statistisch signifikant erhöhte Risiken abgeleitet und Risikokoeffizienten bestimmt werden.

## Strahlenepidemiologie

Um die Frage nach der quantitativen Risikoerhöhung durch Strahlung beantworten zu können, ist man somit auf **epidemiologische Studien** angewiesen, die jedoch prinzipiell nur Korrelationen herstellen und keine Ursache-Wirkungsbeziehung belegen. Diese Vorgehensweise erlaubt allerdings nur Aussagen zum Strahlenrisiko oberhalb einer effektiven Dosis von etwa 50 bis 100 mSv. Aussagen für den Bereich unterhalb davon erfordern eine **Extrapolation in den Bereich kleinerer Dosen**.

Die **Epidemiologie** beschäftigt sich mit der Verbreitung von Krankheiten und gesundheitsbezogenen Ereignissen in Bevölkerungen, sowie ihren Ursachen und Folgen. Ziel ist es, **quantitative Abschätzungen** von Gesundheitsrisiken (z.B. durch Strahlung) anzugeben. Mit epidemio-

logischen Methoden können prinzipiell **keine kausalen Zusammenhänge** bewiesen werden, sondern nur statistische Zusammenhänge aufgedeckt werden.

Für die Zwecke des Strahlenschutzes geht man davon aus, dass ein **linearer Zusammenhang** zwischen der **effektiven Dosis** und dem **Krebsrisiko** besteht. Die Steigung dieses linearen Dosis-Risiko-Zusammenhangs wird als **Risikokoeffizient** bezeichnet und gibt das Risiko pro Dosis an. Für **die strahleninduzierte Krebssterblichkeit** ergibt sich dabei ein Risikokoeffizient von etwa **5 % pro 1000 mSv**.

Für den Strahlenschutz wird davon ausgegangen, dass ein **linearer Zusammenhang** zwischen Dosis und Risiko besteht und dass es keine Dosis gibt, die vollkommen ohne Wirkung (Risiko) bleibt.

Ohne jegliche zusätzliche Strahlung liegt in Westeuropa die durchschnittliche Wahrscheinlichkeit, an einer Krebserkrankung zu sterben, bei etwa 25%. Ca. 25 von 100 Menschen versterben also an einer Krebserkrankung. Von einer mit 1000 mSv exponierten großen Gruppe von Menschen werden im Mittel von 100 Menschen 5 zusätzliche Personen an einem strahlenbedingten Krebs versterben.

### Dosis:

Die **Effektive Dosis** ist ein Maß für die Strahlengefährlichkeit. Die Maßeinheit ist **Millisievert (mSv)**. Mit der Effektiven Dosis lassen sich die Wirkungen verschiedener Strahlenarten und Strahlungsquellen vergleichen: Gleiche Werte in mSv bedeuten gleiches Strahlenrisiko.

Effektive Dosen im Bereich von 1000 mSv kommen allerdings so gut wie nie vor. Durch natürliche (unvermeidliche) Quellen erhält ein Mensch in Deutschland im Mittel ca. 2 mSv pro Jahr (siehe KOMPAKT Nr. 01/14, 03/15 und 08/18). Üblich bei medizinischen Anwendungen sind Dosiswerte im Bereich von unter 1 mSv bis zu einigen 10 mSv. Wird beispielsweise bei einem Patienten eine CT-Untersuchung durchgeführt, durch die er eine zusätzliche effektive Dosis von 10 mSv erhält, so steigt rein rechnerisch sein Risiko, an Krebs zu sterben, von **25 % auf 25,05 %**. „Rechnerisch“ heißt, dass dieses zusätzliche Risiko nie zu beobachten sein wird, sondern lediglich als Durchschnittswert abgeschätzt, also ausgerechnet werden kann.

Mit fundiertem Fachwissen setzen wir uns beständig ein für den Schutz von Mensch und Umwelt vor Gefährdungen durch Strahlung in Medizin, Forschung, Industrie und bei natürlichen Strahlenquellen. Auch bei Not- und Unfällen berät und informiert der Fachverband die Öffentlichkeit – unabhängig und kompetent.

### Kontakte:

FS-Pressesprecher:  
Dr. Norbert Zoubek  
presse@fs-ev.org

Redaktion:  
Prof. Dr. Joachim Breckow  
Prof. Dr. Clemens Walther  
kompakt@fs-ev.org