

# Strahlenschutz – Vergangenheit und Zukunft

## AUTOR

Rolf Michel

## DANK

Die Schriftleitung dankt **Rolf Michel** für diese eigens für das Jubiläumshft der SSP zusammengestellte umfassende Übersicht über Vergangenheit und Zukunft des Strahlenschutzes.

## ZUSAMMENFASSUNG

Nach einem kurzen Abriss der Geschichte des Strahlenschutzes und seiner wissenschaftlichen Grundlagen wird ein Überblick gegeben über den derzeitigen Stand des Strahlenschutzes, wobei vor allem auf offene Fragen wie Risikowahrnehmung und Kommunikation mit der Bevölkerung eingegangen wird. Abschließend werden die zukünftigen Aufgaben des Strahlenschutzes beschrieben.

## SUMMARY

### Radiation Protection – The Past and the Future

After a short summary of the history of radiation protection and its scientific basis a survey is given on the actual state of radiation protection, thereby entering into open questions like risk perception and communication with the general public. Finally, the future tasks of radiation protection are described.

## Strahlenschutz im Spannungsfeld zwischen Wissenschaft, Praxis und Gesellschaft

50 Jahre Deutsch-Schweizerischer Fachverband für Strahlenschutz: Das ist eine lange Zeit und Anlass, sowohl auf die Geschichte als auch auf die Zukunft des Strahlenschutzes im Allgemeinen und des Fachverbandes im Besonderen zu blicken. Dabei wird ein solcher Rückblick notwendigerweise subjektiv sein – aufgrund der eigenen Historie und unvollständiger Informationen – und soll mit seinen Thesen auch zu Diskussionen und Widerspruch führen.

## Eine kurze Geschichte des Strahlenschutzes

### Die ersten Strahlenschäden machen Strahlenschutz notwendig

Die Notwendigkeit des Schutzes vor den schädigenden Wirkungen ionisierender Strahlung wurde zeitnah zu deren Entdeckung erkannt. Roger Clarke und Jack Valentin [4] haben dies in ihrer Geschichte der ICRP ausführlich beschrieben. Danach erschienen bereits 12 Monate nach der Entdeckung der Röntgenstrahlung Berichte über Schäden nach hohen Expositionen. Zuerst war nur die Rede von Erythemen und einer „Röntgen-Dermatitis“, aber dann wurde bald klar, dass diese in Krebserkrankungen aus-

arten konnten und eine tödliche Gefahr darstellten, der sich Mediziner und andere Wissenschaftler stellen mussten. Viele von ihnen wurden zu Märtyrern des Radiums und der Röntgenstrahlung (Abb. 1).

Es dauerte bis zum Jahr 1925, bis auf dem ersten „International Congress of Radiology“ (ICR) in London die Notwendigkeit der Gründung eines Strahlenschutzkomitees diskutiert wurde, das dann als „International Commission on Radiological Protection“ (ICRP) auf dem zweiten Kongress in Stockholm im Jahr 1928 gegründet wurde. Die ICRP sollte auf der Grundlage der wissenschaftlichen Erkenntnis die notwendigen Schutzstandards festlegen. Gleichzeitig war klar geworden, dass die schädigenden Strahleneffekte eine Frage der Dosen waren. Auch die heilende Wirkung der ionisierenden Strah-



Abb. 1: Ehrenmal aus dem Jahr 1936 am Krankenhaus St. Georg Hospital in Hamburg mit den Namen von 159 Ärzten, Wissenschaftlern und anderen, die ihr Leben ließen als Folge ihrer Arbeit mit Röntgenstrahlung und Radium. Das Denkmal wurde 1938 um 17 Namen ergänzt, 1960 auf insgesamt 359 [32, 56]. Foto: denkmalhamburg.de

lung zur Behandlung bösartiger Erkrankungen hing von der applizierten Dosis ab. Und die Frage der Dosismessung war nicht beantwortet. Daher wurde das ebenfalls auf dem ersten Kongress im Jahr 1925 angedachte „International X-Ray Unit Committee“, später „International Commission for Radiological Units“ (ICRU), auf dem gleichen zweiten Kongress gegründet ([www.icru.org/home/uncategorised/history](http://www.icru.org/home/uncategorised/history)).

Erste Aufgabe der ICRU wurde die Festlegung einer Einheit zur Strahlungsmessung für die Medizin.

Erst nach 1950 wurde die Aufgabe der ICRU erweitert auf generelle

Messaufgaben für Strahlung und Dosimetrie. Und damit kommen wir zur allgemeinen zeitlichen Entwicklung des Strahlenschutzes und der in ihm wesentlichen Organisationen (Abb. 2).

### Entdeckung der Kernspaltung und weitere Entwicklung

Was dann folgte, belastet den Strahlenschutz bis heute. Mit der Entdeckung der Kernspaltung durch Otto Hahn und Fritz Straßmann und die theoretische Deutung der Spaltung durch Lise

Meitner und Otto R. Frisch im Jahr 1938 wurde die Möglichkeit der Erschließung ungeheurer Energiequellen eröffnet. Und diese Energiequellen wurden zuerst zum Schaden der Menschen entwickelt und eingesetzt.

Albert Einstein schrieb am 2.8.1939 seinen berühmt-berüchtigten Brief an den amerikanischen Präsidenten Franklin D. Roosevelt, in dem er sagte, dass das neue Phänomen der Spaltung zur Konstruktion von Bomben führen würde, und er empfahl, die Untersu-

chungen zur Entwicklung von Atomwaffen voranzutreiben, bevor die Deutschen solche Waffen entwickeln konnten. Noch im Jahr 1939 wurde das streng geheime Projekt „Development of Substitute Materials“ gegründet. Dieses Projekt wurde später „Manhattan Project“ genannt und diente der Entwicklung der Atombombe.

Am 16. Juli 1945 explodierte dann um 5.29 Uhr auf Trinity Site in New Mexico die erste Atombombe mit der unvorstellbaren Sprengkraft von etwa 20 Kilotonnen des herkömmlichen Sprengstoffs TNT. Am 6. und 9. August 1945 wurden dann Hiroshima und Nagasaki mit Atombomben angegriffen (Abb. 3). Die Folge waren 210.000 Tote und 160.000 Verletzte unter den 610.000 Menschen der Bevölkerung der beiden Städte. Obwohl die meisten der Opfer an den Folgen der Hitze- strahlung und der Druckwelle der Explosionen gestorben waren, war da mehr. Die, die nahe an den Explosions- orten überlebt hatten, litten an einer geheimnisvollen Erkrankung, die später Strahlenkrankheit genannt wurde. Wir nennen es heute das akute Strahlensyndrom (ARS).

## Der Sündenfall der Kernenergie

### Strahlenschutz war Sache der Medizin

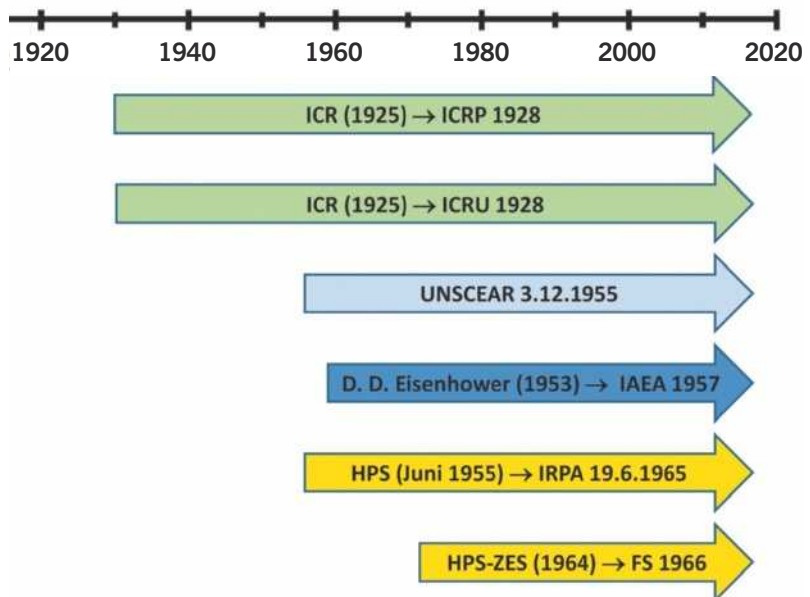


Abb. 2: Die Zeitachse des Strahlenschutzes

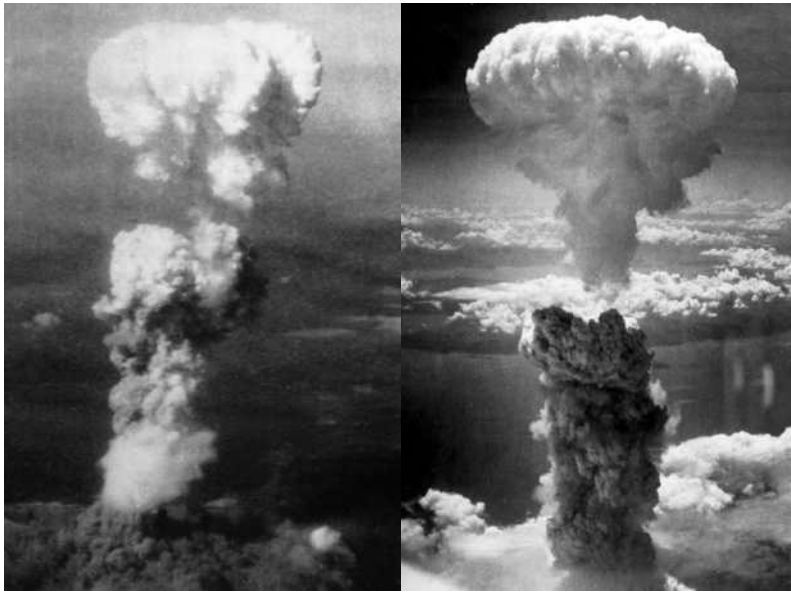


Abb. 3: Die Explosionswolken über Hiroshima am 6. August 1945 (links) und über Nagasaki am 9. August 1945 (rechts). Das Life Magazine schrieb am 20. August 1945 unter diese Bilder: „HIROSHIMA atom bomb No. 1 obliterated it“ und „NAGASAKI Atom Bomb No. 2 disembowled it“. Fotos: links: George R. Caron, National Archives and Record Administrations, <https://catalog.archives.gov> – Wikimedia Commons und [www.atomicarchive.com](http://www.atomicarchive.com), gemeinfrei; rechts: Charles Levy, National Archives, [www.archives.gov](http://www.archives.gov) – Wikimedia Commons und [www.atomicarchive.com](http://www.atomicarchive.com), gemeinfrei

## Das Böse

Ein Mensch – was noch ungefährlich –  
 Erklärt die Quanten (schwer erklärlich!),  
 Ein zweiter, der das All durchspäht,  
 Erforscht die Relativität.  
 Ein dritter nimmt, noch harmlos, an  
 Geheimnis stecke im Uran.  
 Ein vierter ist nicht fernzuhalten  
 Von dem Gedanken, kernzuspalten.  
 Ein fünfter – reine Wissenschaft! –  
 Entfesselt der Atome Kraft.  
 Ein sechster, auch noch bonafidlich,  
 Will sie verwerten, doch nur friedlich,  
 Unschuldig wirken sie zusammen:  
 Wen dürften, einzeln, wir verdammen?  
 Ist's nicht der siebte erst und achte,  
 Der Bomben dachte und dann machte?  
 Ist nicht der Böseste der Bösen,  
 Der's dann gewagt, sie auszulösen?  
 Den Teufel wird man nie erwischen,  
 Er steckt von Anfang an dazwischen.

Eugen Roth

## Untersuchungen der biologischen und medizinischen Effekte

Inzwischen war in den Laboratorien auch eine Fülle von strahlenbiologischen Untersuchungen durchgeführt worden und man hatte unter anderem Hinweise auf genetische Schäden bei den Nachkommen exponierter Lebewesen gefunden. Die im Jahr 1946 auf Anordnung von US-Präsident Harry S. Truman gegründete „Atomic Bomb Casualty Commission“ (ABCC) sollte sich mit „detaillierten und langfristigen Untersuchungen der biologischen und medizinischen Effekte der Bombardierungen auf menschliche Wesen“ befassen. Dies wurde als von höchster Bedeutung für die Vereinigten Staaten und die Menschheit im Allgemeinen eingeschätzt.

Die unheimliche und bedrohliche Wirkung genetischer Effekte in zukünftigen Generationen stand im Vordergrund aller Befürchtungen. Tatsächlich bestätigten sich die Befürchtungen

nicht. Bis heute sind solche Effekte nur im Tierversuch und nicht am Menschen nachgewiesen. Aber man entdeckte etwas anderes. Epidemiologische Untersuchungen an den Überlebenden der Atomwaffenexplosionen zeigten ein erhöhtes Auftreten von Leukämien und später auch von soliden Tumoren. Im Jahr 1975 ging die ABCC auf in der „Radiation Effects Research Foundation“, einer bilateralen japanisch-US-amerikanischen Organisation, die sich bis heute mit den gesundheitlichen Folgen der Bombenexplosionen befasst und vielleicht die wichtigste Quelle unseres Wissens über stochastische Strahlenwirkungen darstellt.

## Höchste Bedeutung für die Menschheit

## Der Kalte Krieg und die nukleare Hochrüstung

Der 2. Weltkrieg war nach den Bombardierungen von Hiroshima und Nagasaki zwar zu Ende, aber die Explosionen von Atombomben gingen weiter. Im Pazifik wurde auf dem Bikini-Atoll am 24. Juli 1946 die vierte Kernwaffe gezündet. Und so ging es weiter. Ab 1949 waren auch die Sowjets im Geschäft. Der erste russische Test fand am 29. August 1949 auf der Semipalatinsk Test Site in Kasachstan statt. Ab 1951 führten die USA oberirdische Kernwaffentest auf der Nevada Test

Site durch. Die oberirdischen Kernexplosionen führten zu globaler Kontamination der Umwelt durch Fallout.

Im Pazifik ging es auf dem Eniwetok-Atoll derweil zu neuen Dimensio-

nen. Am 1. November 1952 wurde die erste Wasserstoffbombe mit unvorstellbaren 10,4 Mt gezündet und erhöhte den globalen Fallout dramatisch. Die erste sowjetische Wasserstoffbombe wurde am 12. August 1953 auf der Semipalatinsk Test Site mit 400 kt

## Globale Kontamination der Umwelt

zur Explosion gebracht, gefolgt am 28. Februar 1954 von der wohl größten Explosion einer Wasserstoffbombe mit 15 Mt auf dem Bikini-Atoll (Operation Bravo/Castle).

Die „Bravo-Explosion“ machte einen enormen Krater in das Atoll und verursachte eine 300 km lange und bis zu 70 km breite Fallout-Fahne nach Westen, in der innerhalb von 96 Stunden mehr als 1 Gy akkumuliert wurde. Die benachbarten Atolle Ailinginae, Rongelap und Rongerik waren vom Fallout betroffen und mussten evakuiert werden. Ein japanisches Fischerboot, die Fukuryu Maru V (Glücklicher Drache), geriet in 140 bis 160 km Entfernung von der Explosion

in starken Fallout. 23 Mitglieder der Besatzung litten an Strahlenkrankheit. Der Funker verstarb am 23. September 1954 daran. Die anderen Besatzungsmitglieder überlebten zunächst, 6 von ihnen erkrankten später an Krebs.

Und das atomare Wettrüsten ging weiter. Es war bis Ende 1962 geprägt von der Entwicklung von Interkontinentalraketen und einer unaufhörlichen Folge atmosphärischer Kernwaffenexplosionen. Erst mit Inkrafttreten des

„Partial Test Ban Treaty“ (PTBT) im Jahr 1963 wurden die Tests unter die Erdoberfläche verlegt und nur noch vereinzelte oberirdische Tests waren zu verzeichnen. Insgesamt hatten die oberirdischen Tests eine Sprengkraft von 545 Mt, was etwa 25.000 Hiroshima-Bomben entspricht.

Angst breitete sich weltweit aus: Angst vor der nuklearen Hochrüstung und dem nuklearen Weltuntergang, Angst vor Strahlenkrankheit, Angst vor radioaktiver Verseuchung, Angst vor genetischen Defekten in der Zukunft und Angst vor Leukämie und Krebs. Auch heute ist unsere Einstellung zur Radioaktivität weitgehend durch die damals entstandenen Ängste bestimmt; z. B. [29]. Weltweit formierte sich Widerstand gegen nukleare Hochrüstung und Kontamination der gesamten Erde durch den globalen Fallout.

### Das „United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation“

Die Vereinten Nationen gründeten am 3. Dezember 1955 mit der Resolution 913(X) das „United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation“ (UNSCEAR), dessen Aufgabe es ist, alle Informationen über „Levels and Effects of Ionizing Radiation“ zu sammeln und zu evaluieren. Das erste Komitee umfasste führende Wissenschaftler aus 15 ausgesuchten UN-Mitgliedsstaaten: Argentinien, Australien, Belgien, Brasilien, Kanada, Tschechoslowakei, Ägypten, Frankreich, Indien, Japan, Mexiko, Schweden, das Vereinigte Königreich, die USA und die UdSSR. Seitdem hat sich UNSCEAR zu der Quelle für zusammenfassende Darstellungen der wissenschaftlichen Erkenntnis über Radioaktivität und ionisierende Strahlung sowie über die durch sie bewirkten Effekte entwickelt; siehe [www.unscear.org](http://www.unscear.org).

### Die friedliche Nutzung der Kernenergie

Aber die Kernenergie hatte ja noch eine andere, freundlichere Seite. Würde man sie friedlich zur Gewinnung von Elektrizität und eventuell für Prozesswärme nutzen, eröffnete sie ungeahnte Möglichkeiten, und es wurde vorhergesagt, dass sie eine unerschöpfliche Versorgung mit billigster Elektrizität ermöglichen würde, sodass es sich nicht einmal mehr lohnen würde, Stromkosten zu erheben. Dem entgegen stand allerdings das Problem der Proliferation. Wer das friedliche Atom beherrschte, konnte es auch für militärische Zwecke missbrauchen.

Der amerikanische Präsident Dwight D. Eisenhower eröffnete in seiner berühmten Rede „Atoms for Peace“ auf der 470. Plenarversammlung der Vereinten Nationen am 8. Dezember 1953 einen Ausweg aus dem Dilemma. Er schlug die Gründung einer internationalen Organisation vor, die die friedliche Nutzung bei den Signaturstaaten überwachen und damit militärischem Missbrauch vorbeugen sollte. Damit verbunden war das Angebot, dass die friedliche Nutzung der Kernenergie allen Nationen der Welt offenstehen sollte, wenn sie denn auf die militärische Nutzung verzichteten. So wurde mit dem Versprechen der Öffnung der friedlichen Nutzung der Kernenergie für alle gleichzeitig ein Placebo gegen die Angst vor der nuklearen Hochrüstung verabreicht. Als Konsequenz wurde die „International Atomic Energy Agency“ (IAEA) im Jahr 1957 gegründet, die die Aufgabe der Überwachung und der Regelsetzung übernahm.

Das Placebo wirkte nicht wirklich. Der Widerstand gegen die nukleare Hochrüstung währte fort. Am 9. Juli 1955 wurde das sogenannte Russell-Einstein-Manifest publiziert, das von Bertrand Russell und Albert Einstein als

### Angst breitete sich weltweit aus

## Der etwas andere Kommentar, heute zum Thema: 50 Jahre Fachverband I

Meint ein Strahlenschützer:

Nach nun 50 Jahren  
des Kampfs gegen Strahlen und  
ihre Gefahren  
frag' ich mich, wie weiter nun?

Bleibt da wirklich noch was zu tun?

Ja viel, und zwar mehr, als nur Dosis  
einsparen!

**Rupprecht Maushart, Straubenhardt**

### Friedliche Nutzung – Placebo und Versprechen

ein Manifest für Frieden und internationale Verständigung initiiert worden war: „In view of the fact that in any future world war nuclear weapons will certainly be employed, and that such weapons threaten the continued existence of mankind, we urge the governments of the world to realize, and to acknowledge publicly, that their purpose cannot be furthered by a world war, and we urge them, consequently, to find peaceful means for the settlement of all matters of dispute between them.“ Es unterschrieben Max Born, Percy W. Bridgman, Albert Einstein, Leopold Infeld, Frederic Joliot-Curie, Hermann J. Muller, Linus Pauling, Cecil F. Powell, Joseph Rotblat, Bertrand Russell und Hideki Yukawa. Es hat nicht wirklich genützt. Die Gespaltenheit nahm ihren Lauf. Auf

der einen Seite die Proponenten der friedlichen Nutzung der Kernenergie zum Segen für die Menschheit, auf der anderen die militärischen Kraftanstrengungen, die der Welt Overkill-Arsenale an Kernwaffen bescherten, die bis heute auch nach dem Ende des Kalten Krieges nicht wirklich beseitigt sind und noch immer das Potenzial der globalen Vernichtung besitzen.

#### Die ersten Kernkraftwerke

Doch wenden wir uns der Entwicklung der friedlichen Nutzung der Kernenergie zu. Diese ist wichtig für unsere Geschichte. Am 26. Juni 1954 war das Kernkraftwerk Obninsk in der damaligen Sowjetunion das weltweit erste Kernkraftwerk, welches elektrische Energie in ein öffentliches Stromnetz lieferte. Am 27. August 1956 ging als erstes kommerzielles Kernkraftwerk

der Welt Calder Hall in Großbritannien mit einer Leistung von 50 MW ans Netz. Der weitere Ausbau schritt in den 1960er- und 1970er-Jahren schnell voran bis zum Unfall von Three Miles Island im Jahr 1979, der in vielen Ländern nahezu zu einem Baustopp führte. Nach Angaben der IAEA waren am 1. Juli 2015 insgesamt 438 Reaktoren in 31 Ländern mit einer installierten elektrischen Gesamtnettoleistung von rund 379 Gigawatt (GWe) in Betrieb, um elektrischen Strom zu erzeugen.

Bis zum Jahre 1955 war der Bundesrepublik Deutschland jede Betätigung auf dem Gebiet der friedlichen Nutzung der Kernenergie durch die alliierte Militärregierung verboten. (Abb. 4)

Im Oktober 1955 erfolgte die Einrichtung eines Bundesministeriums für

Anzeige



## INNOVATIVE LÖSUNGEN FÜR JEDE ANFORDERUNG



### SpectroTRACER

- Bestimmung der ODL und der nuklidspezifischen Aktivität
- Redundante Datenübertragung
- Batteriebetrieb bis zu 10 Tagen



### GammaTRACER XL2

- Autarke Überwachung der ODL
- Batteriebetrieb bis zu 10 Jahren
- großer Messbereich, optional zwei Niederdosiszählrohre



### GammaTRACER Spider

- Autarke ODL-Sonde für den Notfalleinsatz
- Schnelles und einfaches Ausbringen der Sonde
- Gesicherte Datenübertragung, auch im Ernstfall

WWW.BERTIN-INSTRUMENTS.COM  
WWW.SAPHYMO.COM



MONITOR THE INVISIBLE





Abb. 4: Als erster Forschungsreaktor in Deutschland wurde am 31. Oktober 1957 der Forschungsreaktor München (FRM), das Atom-Ei, in Garching bei München in Betrieb genommen. Foto: Bernhard Ludewig

Atomfragen. Die Entwicklung der Kernphysik mit ihren technisch-wirtschaftlichen Folgen stellte die öffentliche Verwaltung vor neuartige Aufgaben. Erst im Jahr 1957 wurden mit der Unterzeichnung des Euratom-Vertrags durch Deutschland die Vorbehaltsrechte der Alliierten aufgehoben. Aufgrund eines Beschlusses der Bundesregierung vom 21. Dezember 1955 wurde am 26. Januar 1956 die Deutsche Atomkommission konstituiert. Sie hatte die Aufgabe, das Bundesministerium für Atomfragen (seit 1957 Bundesministerium für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft) in allen wesentlichen Angelegenheiten zu beraten, die mit der Erforschung und Nutzung der Kernenergie für friedliche Zwecke zusammenhängen. In den folgenden Monaten wurden nach der Konstituierung der Atomkommission 5 Fachkommissionen gegründet. Die Fachkommission IV „Strahlenschutz“ konstituierte sich Anfang 1956. Sie kann als unmittelbare Vorgängerin der heutigen Strahlenschutzkommission (SSK) angesehen werden.

### Fachkommission „Strahlenschutz“ konstituiert

Die Entwicklung und Betrieb von Leistungsreaktoren – wie auch die Ent-

wicklung und Herstellung von Kernwaffen – benötigten sach- und fachgerechten Umgang mit radioaktiven Stoffen und ionisierender Strahlung und damit auch Strahlenschutz. Dazu mussten die notwendigen Organisationen und Regeln (Abb. 5) aufgebaut werden. Im Juni 1955 wurde in den USA die „Health Physics Society“ (HPS) als Fachgesellschaft der Strahlenschützer gegründet. Sie initiierte die Gründung der IRPA ([www.irpa.net](http://www.irpa.net)) als „Gesellschaft der Strahlenschutzgesellschaften“ [58].

Im Jahr 1959 richtete die HPS beim Stand von mehr als 1.000 Mitgliedern „Sektionen“ ein, um den verschiedenen Ländern den Aufbau eigener Unterorganisationen zu ermöglichen. Die ersten Sektionen wurden in Frankreich im Jahr 1961 und dann in Japan und dem Vereinigten Königreich in den Jahren 1962 und 1963 eingerichtet. In den Jahren 1963/64 richtete die HPS dann ein Ad-hoc-Komitee für die Internationalisierung des Strahlenschutzes (Health Physics) mit Karl Z. Morgan als Vorsitzendem ein. Der Vorschlag dieses Komitees „Articles of Agreement for the Formation of an International Health Physics or Radiation Protection Society“ wurde vom Vorstand der HPS gebilligt und ein Pro-tempore-Exekutivrat ernannt. Er hatte seine erste Zusammenkunft in Gatlin-

burg/Tennessee am 11./12. Juni 1964 mit Karl Z. Morgan als Präsident. Der HPS-Vorstand und der Pro-tempore-Exekutivrat führten vom 30. November bis 3. Dezember 1964 eine Pro-tempore-Generalversammlung als Gast der französischen Sektion der HPS in Paris durch (Abb. 6). 15 Gesellschaften mit 45 offiziellen Delegierten sowie die Vertreter 6 weiterer Länder nahmen teil. Auf dieser Generalversammlung wurde die Satzung verabschiedet mit dem Satzungszweck des Schutzes des Menschen und der Umwelt vor den Gefährdungen durch ionisierende Strahlung. Des Weiteren wurde der provisorische Exekutivrat ermächtigt, die Gründung der IRPA zu erklären, vorausgesetzt, dass der Status einer assoziierten Gesellschaft von mindestens 4 Gesellschaften mit insgesamt mehr als 1.000 Mitgliedern angenommen wurde

Auf einem Treffen in Los Angeles wurde dann am 19. Juni 1965 die IRPA mit folgenden Mitgliedsgesellschaften gegründet:

- der Zentraleuropäischen Sektion mit Deutschland, der Schweiz und Österreich,

Abb. 5: Ein neues Berufsbild entsteht: der Strahlenschützer (Health Physicist); Quelle: ORAU – Oak Ridge Associated Universities



Abb. 5: Ein neues Berufsbild entsteht: der Strahlenschützer (Health Physicist); Quelle: ORAU – Oak Ridge Associated Universities



Abb. 6: IRPA-pro-tempore-Exekutivrat, Paris, 2. Dezember 1964: von links nach rechts: Halter (Belgien), Marko (Kanada), Rupprecht Maushart (Deutschland), Peter Courvoisier (Schweiz), Duhamel (Frankreich); Foto: IRPA

- der Société Française de Radioprotection,
- der Health Physics Society der USA und Kanadas sowie
- der Societé Luxembourgeoise.

Der erste IRPA-Kongress fand in Rom vom 5. bis 10. September 1966 statt, auf dem auch die erste IRPA-Generalversammlung die zukünftige Arbeit regelte. Die detaillierte Geschichte kann auf der Webseite der IRPA nachgelesen werden.

### Die Gründung des FS

Eine Zentraleuropäische Sektion der HPS war im Jahr 1963 mit den Mitgliedsländern Deutschland, der Schweiz und Österreich gegründet worden. Aus ihr wurde am 30. Juni 1966 der

Fachverband für Strahlenschutz (FS), dessen 50. Geburtstag wir in diesem Jahr feiern. Die österreichischen Strahlenschützer lösten sich am 11. August 1966 vom FS und gründeten den Österreichischen

Verband für Strahlenschutz (ÖVS) als eigenständige Fachgesellschaft in der IRPA.

Zu erwähnen bleibt, dass die Gründung der Zentraleuropäischen Sektion der HPS nicht unwidersprochen erfolgte. Vonseiten der Mediziner, das heißt der Strahlenschutzärzte, wurde darauf gedrängt, dass Strahlenschutz

eine medizinische Domäne sei. Es dauerte eine gewisse Zeit, bis die Notwendigkeit des Strahlenschutzes außerhalb der Medizin akzeptiert wurde und man erkannte, dass Strahlenschutz ein zutiefst interdisziplinäres Arbeitsgebiet ist – heute eine Selbstverständlichkeit. Bezüglich einer detaillierteren Geschichte des FS sei auf den Artikel von Rupprecht Maushart [25] verwiesen.

### „Strahlenschutz der Strahlenschützer“

Damit ist der „Strahlenschutz der Strahlenschützer“ vollständig. Er besteht aus 4 Säulen:

- der Wissenschaft (UNSCEAR),
- den Grundsätzen und Empfehlungen (ICRP),
- den Regeln (IAEA, EU und nationale Regierungen) und
- den Praktikern (der IRPA und ihren Mitgliedsgesellschaften).

Es gibt eine Vielzahl Mithandelnder oder vom Strahlenschutz Betroffener, wenn man die Gesellschaft als Ganzes betrachtet. Dies ist in Abbildung 7 angedeutet. Ein Beitrag von Renate Czarwinski auf S. 46f. in diesem Heft stellt die internationale Einbindung des FS im Detail dar.

Abbildung 7 stellt die Gesellschaft extrem verkürzt dar. Sie besteht nicht nur aus Wissenschaftlern, wissenschaftlichen Beratungsgremien, Regulatoren und Praktikern, vulgo die ge-



Mehr Sicherheit.  
Mehr Wert.

## Strahlenschutz in Medizin, Forschung und Industrie

Tagung

6. – 7. Dezember 2016  
in Tübingen

Ziel der Veranstaltung ist es über den Stand der Praxis des Strahlenschutzes und seiner Bewertung bei der Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung in Medizin, Forschung und Industrie zu informieren, sowie einen Ausblick auf das künftige Strahlenschutzgesetz, insbesondere zum Stand der Umsetzung der Richtlinie 2013/59 Euratom zu geben.

### Veranstaltungspreis

780,00 € zzgl. gesetzlicher USt.  
430,00 € zzgl. USt. Für Vertreter von Aufsichts- und Genehmigungsbehörden

### Veranstaltungsort

Museumsgesellschaft Tübingen  
Wilhelmstr. 3  
720074 Tübingen

## Juni 1966: Fachverband für Strahlenschutz

### Anmeldung und Auskünfte

TÜV SÜD Akademie GmbH  
Tagungen und Kongresse  
Martina Sperber  
Westendstr. 160  
80339 München  
Telefon +49 89 5791-2476  
Telefax +49 89 5155-2468  
E-Mail: congress@tuev-sued.de

TÜV®

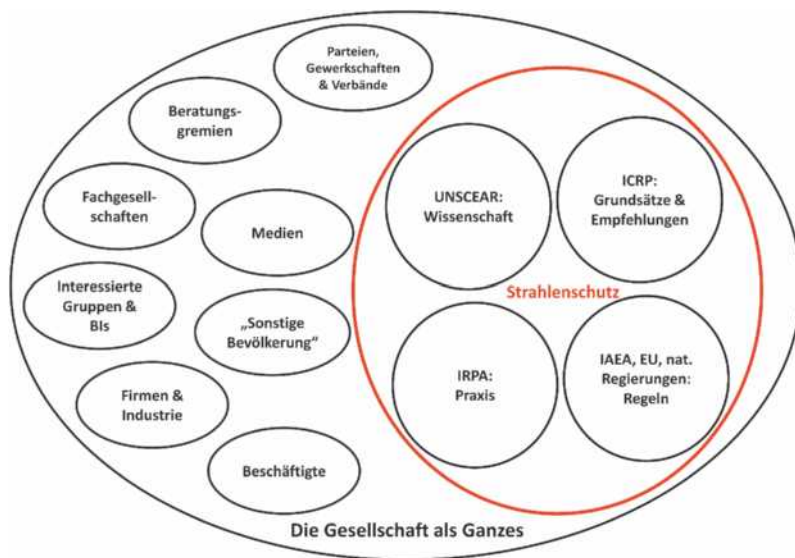


Abb. 7: Der „Strahlenschutz der Strahlenschützer“ als Teil und im Wechselspiel mit der Gesellschaft

wöhnlichen Strahlenschützer. Da sind noch Firmen- und Industrie, Mediziner und medizinisches Personal, Regulatoren und Behörden, Politiker und Parteien, die Medien, Multiplikatoren (Lehrer, Kirchenleute, ...), Verbände, Stakeholder und interessierte Gruppen und die sonstige Bevölkerung als mehr oder weniger „schweigende Mehrheit“.

Der Strahlenschutz hat sich in der Geschichte gewandelt von einem Strahlenschutz der Medizin zu einem universellen Strahlenschutz für alle Anwendungen von ionisierender Strahlung und Radioaktivität in Medizin, Forschung und Technik. Aber, ob wir es wollen oder nicht, Radioaktivität, Strahlung und Strahlenschutz sind in der öffentlichen Wahrnehmung zuallererst mit

Kernenergie verbunden (siehe nebenstehenden Kasten).

Dabei hat der Strahlenschutz der Strahlenschützer in den vergangenen Jahrzehnten Hervorragendes geleistet. Es begann mit dem Schutz vor akuten Gefahren und entwickelte sich zu einem System zur Minimierung des Risikos. Es wurde ein funktionierendes, aber sehr kompliziertes System

des Strahlenschutzes entwickelt, das sich selbst immer wieder infrage stellt, auf neue Erkenntnisse und Ereignisse reagiert, sich erweitert und wie der Erkenntnisprozess nie abgeschlossen ist.

#### Errungenschaften des Strahlenschutzes

Die Errungenschaften kann man kurz so beschreiben: Die Dosen der Beschäftigten haben sich im Laufe der Jahrzehnte immer mehr verringert, Überschreitungen der Grenzwerte für Beschäftigte sind extrem selten und die Dosen der allgemeinen Bevölkerung liegen weit unter „de minimis“. Aber es bleiben auch viele ungelöste Probleme, die bei den wissenschaftlichen Grundlagen beginnen und sich auf das

#### Strahlenschutz in der öffentlichen Wahrnehmung

Zitat: „Nuclear energy was conceived in secrecy, born in war, and first revealed to the world in horror. No matter how much proponents try to separate the peaceful from the weapons atom, the connection is firmly embedded in the minds of the public.“ [42]

System des Strahlenschutzes und seine praktische Umsetzung massiv auswirken. Ein großes Problem ist in einem existierenden gesellschaftlichen Dissens darüber begründet, was Strahlenschutz sein sollte. Es besteht kein Konsens über die Optimierung des Schutzes, was eine Folge unterschiedlicher Risikowahrnehmung bei Strahlenschützern und großen Teilen der Gesellschaft ist. Wir kommen später darauf zurück. Aber zuerst ein Blick auf die wissenschaftlichen Grundlagen.

## Die wissenschaftlichen Grundlagen

### Strahlenwirkungen am Menschen

Viele Jahrzehnte der medizinischen, epidemiologischen und strahlenbiologischen Forschung haben ein enormes Wissen über Phänomene, Vorkommen und Mechanismen der biologischen Strahlenwirkungen angehäuft. Man siehe z. B. die diversen Berichte von UNSCEAR. Dennoch soll hier eine kurze und grobe Übersicht über das gegeben werden, was wir über die Strahlenwirkungen am Menschen wissen, und anschließend die Frage gestellt werden, was von diesen Phänomenen wir verstehen.

### Gesundheitliche Effekte ionisierender Strahlung

In Abbildung 8 ist vereinfachend die Todeswahrscheinlichkeit als Funktion der Dosis (auf logarithmischer Achse) dargestellt. Dabei sind die Bereiche von hohen (> 1 Sv oder Gy), mittleren (1 Sv–100 mSv) und niedrigen (< 100 mSv) Dosen unterschieden. Oberhalb von 1 Sv sieht man einen rapiden Anstieg, der bei einigen Sv auf 100 % wächst. Dies ist der Bereich der sogenannten deterministischen Schäden, bei denen aufgrund von massivem Zelltod und Zusammenbruch der Funktionen von Geweben und Orga-

### Viele ungelöste Probleme



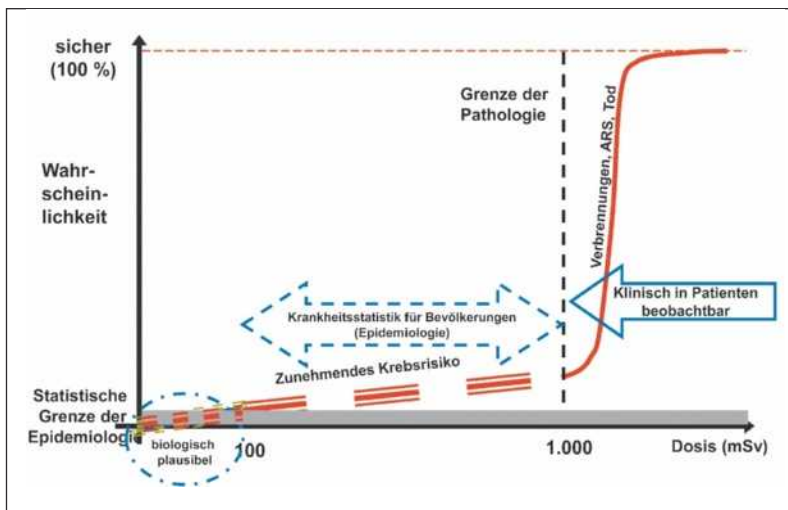


Abb. 8: Gesundheitliche Effekte ionisierender Strahlung; modifiziert nach M. Crick [8]

nen der Organismus nicht weiterleben kann. Zu den akuten Phänomenen der deterministischen Schäden gehören Epilation, Sterilität, Verbrennungen und das akute Strahlensyndrom mit seinen Symptombereichen der Schädigung des roten Knochenmarks, des Gastrointestinaltraktes und der zentralnervösen und vaskulären Schädigung. Diese Phänomene, bei denen die Schwere der Erkrankung mit der Dosis ansteigt, sind durch klinische Beobachtung an einzelnen Patienten feststellbar und der Strahlenwirkung unzweifelhaft zuzuordnen [55].

Aber es gibt auch die späten Schäden wie Leukämie und Krebs und die genetischen Schäden bei der Nachkommenschaft, die wir als stochastische Strahlenwirkungen bezeichnen, da bei ihnen nicht die Schwere der Erkrankung, sondern die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens mit der Dosis steigt. Die Phänomenologie dieser Erkrankungen ist unabhängig von ihren Ursachen, und man kann daher im Allgemeinen nicht entscheiden, ob ein Krebs strahlenbedingt ist, andere Ursachen hat oder spontan aufgetreten ist. Nur die Epidemiologie kann eine Zunahme der Erkrankungen mit steigender Dosis an großen Bevölkerungs-

gruppen bei mittleren und hohen Dosen erkennen. Sie kann unter der Annahme einer Dosis-Wirkungs-Beziehung das Risiko pro Dosis und auch die Unsicherheit seiner Schätzung quantifizieren [54].

Unsere Kenntnis der Dosis-Wirkungs-Beziehungen verdanken wir ganz wesentlich den Untersuchungen der RERF an den Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki in der Life Span Study; z. B. Preston et al. [34].

Die Life Span Study umfasste 120.321 Personen mit einer dosimetrischen Schätzung aus dem Jahr 1986. Von denen waren 26.517 „nicht in der Stadt“ zum Zeitpunkt des Bombenabwurfs. Für 2.383 konnte keine Dosis geschätzt werden und nur 193 haben ein unbekanntes Schicksal. Es gibt 86.611 Überlebende mit Dosisschätzungen aus dem Jahr 2002 (DS02). Bis zum Jahr 2000 waren 55 % der Personen der Life Span Study verstorben, 45 % lebten noch. Unter der Gesamtzahl Verstorbener von 47.685 Personen wurden 296 Fälle von Leukämie beobachtet,

### Life Span Study an 120.321 Personen

von denen 93 als strahleninduziert berechnet wurden. Man beobachtete 10.127 solide Tumoren (ohne Leukämie), 479 davon wurden als strahleninduziert errechnet. Das heißt, dass

21,9% aller Todesfälle durch Krebs einschließlich Leukämie verursacht wurden. Die strahleninduzierten Fälle betragen 5,5% aller Krebsfälle und 1,2% aller Todesfälle.

#### Dosis-Wirkungs-Beziehungen

Auch andere Studien an hoch und mittel exponierten Bevölkerungsgruppen zeigen mit den Ergebnissen der Life Span Study weitgehend konsistente Ergebnisse. Die beobachteten Dosis-Wirkungs-Beziehungen sind im Wesentlichen linear (oder linear quadratisch) und geben keine Hinweise auf eine Schwelle. Das hat zu dem als Grundlage des Strahlenschutzes wesentlichen und

plausiblen Linear-No-Threshold(LNT)-Modell geführt, das heißt, dass man annimmt, dass die stochastischen Strahlenwirkungen linear von der Dosis abhängen und keine Schwelle aufweisen, unterhalb der keine Effekte auftreten. Nach den epidemiologischen Studien beträgt die Wahrscheinlichkeit, an Krebs (ohne Hautkrebs) oder Leukämie zu erkranken, etwa 10 % pro Sievert [50].

Bei Dosen unter 100 mSv kommt die Epidemiologie an ihre Grenzen. Zusätzliche Krebsfälle sind nicht mehr erkennbar, aber die Risiken sind unter der Annahme des LNT-Modells berechenbar und bleiben plausibel. Die Frage nach der Gültigkeit des LNT-Modells ist das Problem des Strahlenschutzes, wenn auch die vorsorgliche Annahme dieser Hypothese für die praktische Ausgestaltung des Schutzes weitgehend akzeptiert wird.

UNSCEAR hat sich inzwischen den Fragen nach der Zuordenbarkeit (Attributability) von Erkrankungen zu Strahlenwirkungen und der Unsicherheit der Risikoschätzungen gestellt und in 2 Berichten unser Wissen zusammengefasst [54, 55]. Die ICRP hat in ihrer Publikation 103 dieses Wissen um stochastische Strahlenwirkungen zusammengefasst und bewertet, indem sie

**LNT-Modell:  
Das Problem  
des Strahlenschutzes**

Exponierte Population	Risiko in 10 <sup>-2</sup> Sv <sup>-1</sup>					
	Krebs und Leukämie		Vererbliche Defekte		Total	
	ICRP 103 (2007)	ICRP 60 (1991)	ICRP 103 (2007)	ICRP 60 (1991)	ICRP 103 (2007)	ICRP 60 (1991)
Alle Altersstufen	5,5	6,0	0,2	1,3	5,7	7,3
Erwachsene	4,1	4,8	0,1	0,8	4,2	5,6

Tab. 1: Nominelle schadensadjustierte Wahrscheinlichkeitskoeffizienten nach ICRP

sogenannte schadensadjustierte nominelle Wahrscheinlichkeitskoeffizienten angegeben hat (Tab. 1).

Das System des Strahlenschutzes nach ICRP 103 (2007) [17] hat sich verglichen mit ICRP 60 (1991) [19] als stabil erwiesen. Von ICRP 26 (1977) [18] zu ICRP 60 gab es eine beträchtliche Veränderung, da man vom additiven zum multiplikativen Modell der Krebsentstehung umstellen musste. Dazu zwangen die epidemiologischen Daten. Man beachte, dass die nominellen Wahrscheinlichkeitskoeffizienten geschlechts- und altersgemittelt sind. Sie sind nicht geeignet für individuelle Risikoberechnungen.

#### Mechanismen der biologischen Strahlenwirkungen

So weit unser Wissen über die biologischen Strahlenwirkungen am Men-

schen. Ich habe auf eine Darstellung der Befunde von Tier- und Zellversuchen verzichtet. Dabei gibt es eine Fülle dort wichtiger Beobachtungen zu den Mechanismen der biologischen Strahlenwirkungen. Wir wissen von Bestrahlungsexperimenten an Zellkulturen, dass es aufgrund genetischer Disposition

unterschiedliche Radiosensitivität von individuellen Zellen und Individuen gibt. Wir wissen, dass die Strahlung das Genom verändert. Es kommt zu Einzelstrang- und Doppelstrangbrüchen an der DNS, es kommt zur Zerstörung, Verschiebung, Verdopplung von Genomabschnitten und zu Chromosomenaberrationen. Bei der Wechselwirkung der ionisierenden Strahlung wird außerdem eine große Anzahl reaktiver Sauerstoffspezies erzeugt, die ihrerseits für chemische Veränderungen in den Zellen verantwortlich sind. Aber es gibt auch eine äußerst effiziente und schnell ablaufende Reparatur der Schäden. Wenn diese nicht erfolgreich ist, kann es zum programmierten Selbstmord (Apoptose) der geschädigten Zelle kommen. Und es gilt der Satz: „Eine tote Zelle ist eine gute Zelle, solange nicht zu viele sterben.“ Trotz Reparatur kann es bei den überlebenden Zellen zur genomischen Instabilität kommen, die sich erst in späteren Zellgenerationen manifestiert, und überlebende geschädigte Zellen können später entarten und in ein unkontrolliertes Zellwachstum (Krebs) übergehen. Wichtig ist auch die Kommuni-

kation zwischen Zellen, die mit für die „gute“ Apoptose verantwortlich ist, aber auch für den sogenannten Bystander-Effekt, das heißt, eine Zelle zeigt Wirkung, obwohl sie gar nicht selbst, sondern nur eine Zelle in der Nähe getroffen wurde. Und dann ist da noch die Antwort des Immunsystems, die versucht das

System Organismus zu schützen, und, und ...

Alle diese Effekte haben unterschiedliche Dosis-Wirkungs-Beziehungen und wir wissen nicht, wie sie im Bereich niedriger Dosen, das heißt unter 100 mSv, zusammenwirken und wie die resultierende Dosis-Wirkungs-Beziehung aussieht. Je nach Einstellung bevorzugen Menschen die unterschiedlichsten Annahmen, die von Hyperlinearität bis zu Hormesis reichen. Die einfache physikalische Annahme, dass jede Kurve im Ursprung linear ist, reicht natürlich auch nicht zur Begründung einer Dosis-Wirkungs-Beziehung im Bereich niedriger Dosen.

Ein Gewebe oder Organ ist eben mehr als die Summe seiner Zellen.

#### Wissen und Unwissen zu Strahlenwirkungen

Damit kommen wir zu der Frage, was wir von diesen Effekten eigentlich verstehen. Leider viel zu wenig. Die deterministischen Schäden verstehen wir relativ gut. Aber die Frage, ob Endpunkte, die in deterministischen Schä-

### Strahlung verändert das Genom

### Hyperlinearität bis Hormesis

## Der etwas andere Kommentar, heute zum Thema: Radon-Risiko

Seit 50 Jahren nun treibt uns die Frage: Radon und sein Risiko – wie ist da die Lage? Epidemiologie, Dosimetrie? „Leit, des kriege’ mer au no hie in de’ nächste Jahr“, möchte als Strahlenschutz-Badner ich sage.  
**Rupprecht Maushart, Straubenhardt**

## 10 Zehnerpotenzen an Verständnis fehlen

den erreicht werden, auch als stochastische Effekte mit niedrigerer Wahrscheinlichkeit auftreten können, bleibt zu beantworten. Strahleninduzierte Katarakte der Augenlinsen und die Manifestation von Herzerkrankungen nach Bestrahlung sind solche Fälle, wo zunehmende Evidenz für mögliche stochastische Effekte zusätzlich zu den deterministischen Schäden bei hohen Dosen spricht.

Bei den stochastischen Strahlenwirkungen ist unser Unwissen noch größer. Wir wissen nicht, ob die Krebsentstehung genetisch, epigenetisch oder proteomisch dominiert ist. Welche Bedeutung haben die Doppelstrangbrüche wirklich? Nach Bestrahlung mit 1 mGy Strahlung mit niedrigem linea-

rem Energietransfer haben wir etwa 150 reaktive Sauerstoffspezies in einer Zelle. Wir beobachten etwa 4 Veränderungen an der DNA, etwa  $10^{-2}$  DNA-Doppelstrangbrüche und etwa  $10^{-4}$  Chromosomenaberrationen. Die Wahrscheinlichkeit für eine bösartige Entartung der Zelle mit tödlichem Ausgang für das Individuum liegt bei etwa  $10^{-14}$  [11]. Uns fehlen 10 Zehnerpotenzen an Verständnis. Es gibt noch viel zu tun, um zu einem vollständigen Verständnis von Krebserkrankungen zu kommen.

In diesen Zusammenhang gehört auch die Frage, ob es möglich sein wird, Marker zu finden, die eine bösartige Erkrankung als strahleninduziert ausweisen. Wir wären fast alle unsere Probleme bei der Bewertung von Strahlenschäden im niedrigen Dosisbereich los, wenn dies gelänge.

## Radon-Problematik

Ein weiteres wichtiges Verständnisproblem stellt die Radon-Problematik dar (Abb. 9). Wir haben inzwischen gute epidemiologische Daten für das Lungenkrebsrisiko durch Radon an Arbeitsplätzen und in Wohnungen. Wir wissen, dass Radon das Risiko für Lungenkrebs erhöht. Aber wie viel Dosis macht  $1 \text{ Bq/m}^3 \text{ }^{222}\text{Rn}$ ? Die ICRP hat im Jahr 2009 in einem – nach Meinung dieses Autors vor-schnellen – „Statement on Radon“ die Risikokoeffizienten geändert, bleibt aber die Antwort auf die obige Frage schuldig.

Die Auseinandersetzung zwischen dem epidemiologischen Ansatz und dem dosimetrischen Ansatz zur Beant-

**Wie viel Dosis macht  $1 \text{ Bq/m}^3 \text{ }^{222}\text{Rn}$ ?**

Anzeige

## Spektroskopiefähige

Verlassen Sie sich bei der Radioaktivitätsmessung auf unsere Kompetenz. Wir bieten Ihnen ein umfangreiches Portfolio an innovativen Strahlungsmessgeräten für Mess- und Identifizierungsaufgaben. Durch Anwendung aktuellster Messtechnik erfüllen unsere Geräte alle Anforderungen des modernen Strahlenschutzes.

Die Geräte der Thermo Scientific™ RIIDEye™ X Serie ermöglichen eine schnelle und zuverlässige Nuklididentifikation bei höchstem Ansprechvermögen. Sie unterstützen den Fachmann durch die Anzeige von Echtzeit-Spektren und stellen die identifizierten Nuklide in farbkodierten Grafiken dar.

Das Thermo Scientific™ RadEye™ SPRD ermöglicht die schnelle und empfindliche Detektion radioaktiver Strahlung in Verbindung mit Radionukliderkennung. Seine leichte und kompakte Bauweise macht es zum idealen Messgerät für vielfältige Überwachungsaufgaben.

**Thermo**  
SCIENTIFIC



Thermo Scientific RIIDEye X

## Handmessgeräte

• Weitere ausführliche Informationen erhalten Sie unter +49 9131 998 226 oder besuchen Sie uns auf [thermoscientific.com/riideyex\\_oder\\_.../sprd](http://thermoscientific.com/riideyex_oder_.../sprd)

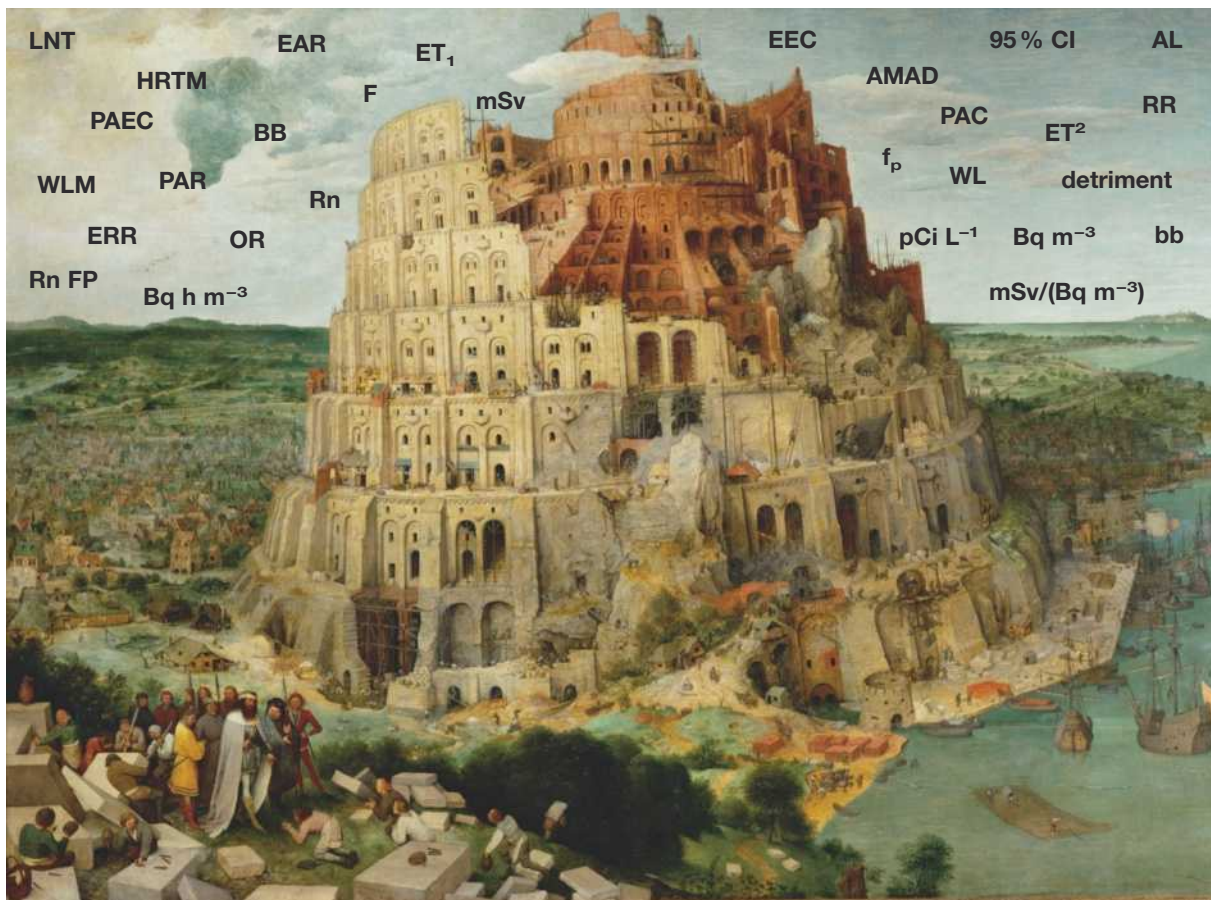


Abb. 9: Radon hat auch ein enormes Kommunikationsproblem. Wie soll man die Größen kommunizieren, die alle notwendig sind, um die Radon-Problematik zu verstehen? Foto: akg-images, modifiziert

wortung dieser Frage geht weiter und kann bei der Kommunikation von Dosiswerten zu einer Glaubwürdigkeitskrise führen.

**Risikoschätzungen für ein Individuum nach Strahlenexposition**

Da wir uns hier weitgehend auf die am Menschen beobachteten Effekte beschränken, kann man die Frage stellen, wie relevant denn die rechnerisch ermittelten Risiken sind, die wir im für die meisten Expositionssituationen relevanten niedrigen Dosisbereich ausrechnen.

**Berechnete Tote bleiben hypothetische Tote**

Unfall von Tschernobyl für bestimmte exponierte Gruppen der Bevölkerung

und der Einsatzkräfte berechnet. Aus dieser wissenschaftlichen Arbeit wurde ein Wettlauf um die meisten Toten, indem man gegen die Empfehlungen der ICRP minimale Dosen mit großen Bevölkerungsanzahlen multiplizierte. Da können leicht Tote durch Expositionen berechnet werden, die der zusätzlichen Dosis durch die kosmische Strahlung als Folge eines Besuchs des Gipfels der Zugspitze entsprechen. Das hat in der Folge zu einer vollständigen Verunsicherung der Gesellschaft über die Folgen des Unfalls von Tschernobyl geführt.

Es ist extrem schwer, realistische Risikoschätzungen für ein Individuum nach Strahlenexposition vorzunehmen. Zuerst einmal ist die effektive Dosis nicht geeignet, individuelle Risiken zu berechnen. Die ICRP hat auch dringend empfohlen, dies nicht zu tun. Aber wer kann und will schon den Unterschied

zwischen Sievert (Abb. 10) und Gray (Abb. 11) so kommunizieren, dass man die nachfolgenden Berechnungen des Risikos versteht? Das Risiko hängt dann unter anderem vom Geschlecht, vom Alter bei Exposition, vom erreichten Lebensalter nach Exposition und von der extrem altersabhängigen spontanen Krebshäufigkeit in der jeweiligen Population ab. Die spontanen Krebshäufigkeiten variieren dabei stark von Land zu Land und unterscheiden sich auch noch stark nach der jeweiligen Krebsart. Krebs ist überwiegend eine Alterskrankheit und, wenn zusätzliche Todesfälle für eine aktuelle Population berechnet werden, werden die meisten dieser Fälle – falls das LNT-Modell zutrifft – erst in der Zukunft eintreten. Dabei ist bei Expositionen unter 100 mSv, besser 100 mGy, nicht einmal die Epidemiologie in der Lage, in einer großen Population eine erhöhte



Abb. 10: Der schwedische Physiker Rolf Maximilian Sievert (1896–1966) war ein Strahlenschützer der ersten Stunde und Namensgeber für die Einheit der Äquivalentdosis. Er entwickelte eine Methode, um die Intensität von Röntgenstrahlen zu messen (Sievert-Kammer), und eine Apparatur, die es ermöglichte, bösartige Tumore dosiert mit Röntgenstrahlen zu bestrahlen. Er war Mitbegründer der ICRU und wurde später Vorsitzender der ICRP. Er setzte sich für die Festlegung internationaler Grenzwerte ein. Foto: Wikimedia Commons – gemeinfrei



Abb. 11: Der englische Physiker Louis Harold Gray (1905–1965) erforschte die biologischen Wirkungen ionisierender Strahlung und wurde ein Vater der Strahlenbiologie. Er definierte die Energiedosis, entwickelte das Konzept der relativen biologischen Wirksamkeit und wurde Namensgeber für die Einheit Gray. Foto: akg/Science Photo Library

Krebshäufigkeit nachzuweisen. Die berechneten Toten bleiben hypothetische Tote.

Die Frage nach der richtigen Dosisgröße bei der Berechnung individueller oder kollektiver Risiken bleibt unbeantwortet, da auch die Strahlenschutzpraktiker – so auch dieser Autor –

dazu neigen, großzügig über den Unterschied zwischen Gray und Sievert hinwegzugehen. Dann werden die nominalen, schadensadjustierten Risikokoeffizienten der ICRP hergenommen

mit etwa  $5 \times 10^{-2}$  pro Sievert und als mittleres individuelles oder kollektives Mortalitätsrisiko verkauft.

Aber kann man aus dieser kruden Anwendung unseres Wissens vielleicht etwas über die Relevanz von Strahlenexpositionen in einer Gesellschaft lernen? Zum Beispiel durch den Vergleich mit anderen Risiken? Man kann! Dieser Antwort liegt die folgende Gedan-

kenübung zugrunde. Man verzeihe mir die Neigung zur Statistik.

### Einschätzung des individuellen Todesrisikos

Im Jahr 2013 starben nach offiziellen Statistiken in Deutschland 11 Prozent der Bevölkerung, das sind 891.825 Menschen von 80,8 Millionen. Davon starben 40 Prozent an Herz-Kreislauf-Erkrankungen und 25 Prozent an Krebs. 0,9 Prozent der Toten verstarben an einer Leukämie. Im gleichen Jahr gab es insgesamt 21.930 Unfälle, davon 9.214 in der Freizeit, 8.675 im Haushalt, 3.542 im Verkehr und 932 durch Arbeitsunfälle. All diese Toten sind sichtbare Tote.

Fasst man diese Zahlen als mittlere Werte des Todesrisikos für die deutsche Bevölkerung auf, beliefen sich die Risiken, in diesem Jahr zu sterben, auf insgesamt  $1,1 \times 10^{-2}$ , an Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Krebs oder Leukämie zu sterben auf  $4,4 \times 10^{-3}$ ,  $2,8 \times 10^{-3}$  bzw.  $1,0 \times 10^{-4}$ . Das töd-

liche Unfallrisiko betrug  $2,7 \times 10^{-4}$ , davon  $1,1 \times 10^{-4}$  in der Freizeit,  $1,1 \times 10^{-4}$  im Haushalt,  $4,4 \times 10^{-5}$  im Verkehr und  $1,2 \times 10^{-5}$  bei der Arbeit. Allerdings geben diese Risikowerte noch nichts her zur Einschätzung des individuellen Todesrisikos, das heißt der Wahrscheinlichkeit für eine Person in einer bestimmten Altersklasse, in diesem Jahr zu sterben. Während unseres Lebens ändert sich dieses Risiko extrem. Im Alter von 0 bis 5 Jahren beträgt es in Deutschland  $7,5 \times 10^{-4}$  und sinkt dann auf  $8,5 \times 10^{-5}$ , um dann nahezu exponentiell mit dem Alter anzusteigen. Mit 30 Jahren:  $4,0 \times 10^{-4}$ , mit 60 Jahren:  $6,2 \times 10^{-3}$ , mit 80 bis 90 Jahren:  $1,2 \times 10^{-1}$ .

Auch die individuellen Unfallrisiken sind altersabhängig. Sie sinken in den ersten Lebensjahren auf ein Minimum von  $2,4 \times 10^{-5}$ , um dann mit 15 bis 25 Jahren ein lokales Maximum von  $9 \times 10^{-5}$

## Ist Strahlenschutz relevant?

## Unfallrisiken sind altersabhängig

zu erreichen. Danach sinken sie wieder leicht auf  $7,8 \times 10^{-5}$  mit 35 bis 45 Jahren und steigen dann kontinuierlich an von  $1,2 \times 10^{-4}$  im Alter von 45 bis 55 Jahren auf  $1 \times 10^{-3}$  im Alter von 75 bis 85 Jahren. Getrieben wird dieser letztgenannte Anstieg von den Unfällen im Haushalt.

#### Was hat das alles jetzt mit Strahlenschutz und dem Strahlenrisiko zu tun?

Benutzt man das oben geschmähte simple Verfahren zur Berechnung von Strahlenrisiken mit einem Risikokoeffizienten von  $5 \times 10^{-2}$  pro Sievert, dann würde unter der Annahme des LNT-Modells und einer mittleren Lebenserwartung von 80 Jahren eine zusätzliche Dosis von 2 mSv pro Jahr über die Lebenszeit für jedes Mitglied der Bevölkerung einem mittleren jährlichen Todesrisiko von  $1 \times 10^{-4}$  entsprechen und damit nahezu gleich dem Todesrisiko durch Unfälle im Haushalt sein. 1 mSv pro Jahr über die Lebenszeit für alle entspräche mit  $5 \times 10^{-5}$  in etwa dem Todesrisiko im Verkehr. Bedenkt man, welchen Aufwand unsere Gesellschaft betreibt, um das Unfallrisiko im Verkehr und bei der Arbeit weiter zu verringern, muss man zur Schlussfolgerung kommen, dass angesichts unserer Unkenntnis der Effekte bei

### Aufwand für Strahlenschutz angemessen

niedrigen Dosen und der vorsorglichen Annahme des LNT-Modells der Aufwand, den unsere Gesellschaft für den Strahlenschutz betreibt, durchaus angemessen ist. Wir reden von relevanten, wenn auch hypothetischen Risiken.

#### Was bedeutet dies nun für das individuelle Risiko?

Auch wenn man mich dafür beschimpfen wird, dass ich eine so grobe Rechnung in die Welt setze: Das mittlere jährliche Todesrisiko durch eine lebenslange zusätzliche Dosis von 2 mSv pro Jahr entspricht mit  $1 \times 10^{-4}$  dem minimalen individuellen Todesrisiko, das wir im Leben haben. Ein Ganzkörper-CT mit einmalig etwa

20 mSv bewirkt ein mittleres Risiko von  $1 \times 10^{-5}$ , das im Alter nach rechtefertiger Indikation sicher verschmerzbar, bei Kindern aber als beachtenswert anzusehen ist. Noch eine letzte Zahl: 10  $\mu$ Sv pro Jahr über die Lebenszeit würde mit einem mittleren Risiko von  $5 \times 10^{-8}$  um den Faktor 1.000 unter dem niedrigsten Todesrisiko liegen, das wir im Leben haben. Wie der Einzelne mit diesen Zahlen umgeht, welche Risiken er als tolerabel oder akzeptabel bezeichnen wird, hängt von der individuellen Risikowahrnehmung ab und der persönlichen Einstellung. Damit werden wir uns später beschäftigen. Jetzt betrachten wir das System des Strahlenschutzes, dessen Notwendigkeit durch diese Zahlenspielerien vielleicht klarer geworden ist.

## Das System des Strahlenschutzes

### Internationale Regelungen

Ohne hier auf die Geschichte der ICRP näher einzugehen (siehe dazu [4]) oder die Entwicklung der grundlegenden Empfehlungen von ICRP 26 über ICRP 60 zu ICRP 103 zu diskutieren, befassen wir uns hier mit dem aktuellen, wenn auch noch nicht überall umgesetzten System des Strahlenschutzes, wie es sich nach ICRP 103 [17] darstellt und in den IAEA Basic Safety Standards [16] und den EU-Grundnormen [10] umgesetzt wurde.

Das System ist auf den ersten Blick relativ einfach. Strahlenschutz dient der Vermeidung von unmittelbaren Gefahren (deterministischen Effekten) mit dem Ziel 0 Opfer, und stochastische Risiken sollen auf tolerables oder akzeptables Maß reduziert werden.

Um diese Ziele zu erreichen, unterscheidet die ICRP 3 Expositionssituationen (geplante, bestehende und Notfall-Expositionssituationen, siehe Kas-

ten auf S. 27 oben) und formuliert 3 Grundsätze des Strahlenschutzes: die Rechtfertigung, die Optimierung und die Begrenzung.

### Grundsätze des Strahlenschutzes

Der **Grundsatz der Rechtfertigung** besagt, dass jede menschliche Handlung, die die Expositionen von Beschäftigten, Personen der allgemeinen Bevölkerung und Patienten verändert, gerechtfertigt sein muss. Das heißt mit einfachen Worten, dass sie mehr Nutzen als Schaden hervorbringen muss. Interessant ist hier das Problem der Rechtfertigung in der Medizin, in der ein diagnostisches oder therapeutisches Verfahren sowohl generell nach dem Stand von Wissenschaft und Technik gerechtfertigt sein muss als auch im Einzelfall durch den Arzt noch eine rechtfertigende Indikation für den Einzelfall zu stellen ist. Detaillierte Erklärungen und Empfehlungen zur Rechtfertigung hat die SSK im Jahr 2005 gegeben, die weiterhin Bestand haben [44].

Der **Grundsatz der Optimierung** verlangt, dass Strahlenexpositionen von Beschäftigten, Personen der allgemeinen Bevölkerung und Patienten nach dem Stand von Wissenschaft und Technik generell und unter Berücksichtigung aller Aspekte des Einzelfalls so niedrig wie möglich gehalten werden sollen. Dabei sollen auch gesellschaftliche und ökonomische Gesichtspunkte berücksichtigt werden. Im Falle der medizinisch-therapeutischen Exposition ist dabei festzuhalten, dass Optimierung auch den Ausschluss zu geringer Dosen für den Therapiezweck bedeutet. Für die Optimierung, die auch als ALARA-Prinzip (As Low As Reasonably Achievable) bezeichnet wird, hat die ICRP keine Untergrenzen (de minimis) empfohlen.

Der **Grundsatz der Begrenzung** der Strahlenexposition besagt, dass bei geplanten Expositionssituationen Grenzwerte festzulegen sind, die nicht überschritten werden sollen. Für diese

### Expositionssituationen nach ICRP

- **Geplante Expositionssituationen** sind Situationen, die den geplanten Betrieb von Quellen einschließlich der Stilllegung, der Beseitigung von radioaktivem Abfall und der Sanierung zuvor belasteter Gebiete mit sich bringen. Laufende Tätigkeiten sind geplante Expositionssituationen.
- **Notfall-Expositionssituationen** sind mit Strahlenexposition verbundene Notfälle, die während Tätigkeiten oder Arbeiten auftreten oder sich daraus entwickeln können und Sofortmaßnahmen erfordern, in erster Linie um eine Gefährdung oder nachteilige Folgen für Gesundheit und Sicherheit, Lebensqualität, Eigentum von Menschen sowie für die Umwelt zu mindern. Dies schließt Situationen ein, für die unverzügliches Handeln gerechtfertigt ist, um die Folgen einer wahrgenommenen Gefährdung abzuschwächen.
- **Bestehende Expositionssituationen** sind Situationen, die bereits bestehen, wenn eine Entscheidung über ihre Kontrolle getroffen werden muss. Eingeschlossen sind z. B. auch Situationen, die natürliche Strahlung und Rückstände früherer Tätigkeiten oder Tätigkeiten, die nicht nach den heutigen Anforderungen durchgeführt wurden, betreffen.

Situationen werden zusätzlich Richtwerte (Constraints) unterhalb der Grenzwerte eingeführt, unterhalb derer noch optimiert werden soll.

Bestehende oder Notfallexpositionen sind nicht planbar, und die Begrenzung ist eine Kunst des Möglichen, ausgerichtet an dem, was die Gesellschaft für tolerabel oder akzeptabel hält, auch unter der Abwägung von möglichen Kollateralschäden. Daher führte die ICRP in diesen Situationen sogenannte Referenzwerte ein, die nach Möglichkeit eingehalten werden sollen und deren Überschreitung als unangemessen betrachtet wird.

Abbildung 12 stellt das ICRP-System der Grenz-, Richt- und Referenzwerte dar und gibt die Bereiche der Referenzwerte an:

- Notfall-Expositionssituationen: 20 mSv pro Jahr bis 100 mSv pro Jahr,
- bestehende Expositionssituationen: 1 mSv pro Jahr bis 20 mSv pro Jahr.

Während die Optimierung bei geplanten Expositionssituationen unterhalb der Richtwerte einsetzt, die ihrerseits nicht überschritten werden sollten, gilt der Grundsatz der Optimierung in be-

stehenden und Notfall-Expositionssituationen für den gesamten Dosisbereich. Erklärtes Ziel ist es, die Referenzwerte in einer aktuellen Situation so niedrig wie möglich zu halten.

Die Referenzwerte gelten für die sogenannte repräsentative Person, die als Referenzperson mit normalen menschlichen Eigenschaften die Höchstexponierten in einer Bevölkerungsgruppe repräsentiert. Langfristiges Ziel bei be-

stehenden Expositionssituationen ist es, die Dosen unter 1 mSv pro Jahr zu halten.

In der Hierarchie der Strahlenschutzgrundsätze kommt die Begrenzung heute sicherlich als letzter. Die Realität der beruflichen Strahlenexposition bei Tätigkeiten zeigt nur eine verschwindend geringe Anzahl Grenzwertüberschreitungen pro Jahr. Die Optimierung hat dafür gesorgt, dass die Verteilung der beruflichen Strahlenexpositionen eine extreme logarithmische Normalverteilung aufweist mit Mittelwerten, die lediglich bei einem geringen Bruchteil der Grenzwerte liegen [2]. Ausnahme ist hier die Exposition des fliegenden Personals, für die die Optimierung an Grenzen stößt. Die Strahlenexpositionen von Einzelpersonen der allgemeinen Bevölkerung aus den bisherigen Tätigkeiten liegen in der Realität um Zehnerpotenzen unter den jeweiligen Grenzwerten, eine Folge der Optimierung. Dennoch sind Grenzwerte aus rechtlichen Gründen zur Durchsetzung des Grundsatzes der Begrenzung erforderlich, nicht unbedingt aus Gründen des Strahlenschutzes.

### Realität der beruflichen Strahlenexposition

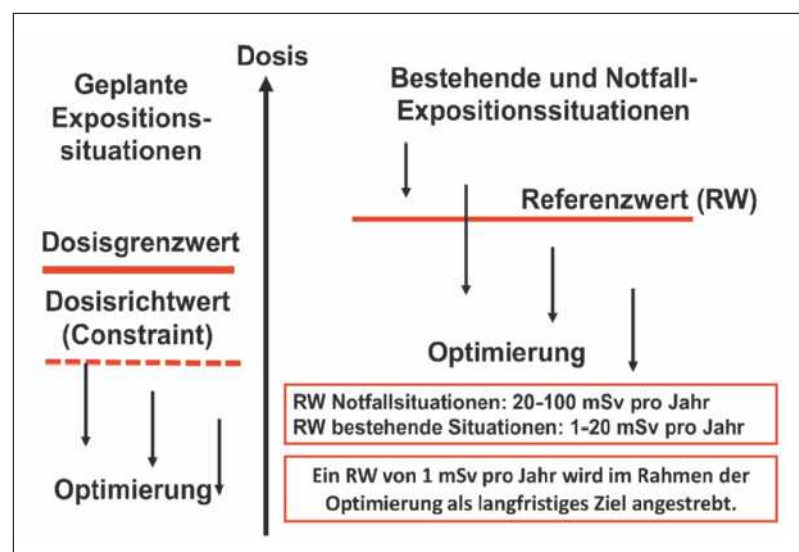


Abb. 12: Das System der Grenzwerte, Richtwerte (Constraints), Referenzwerte und der Optimierung des Schutzes nach ICRP 103 [17]

## Festlegung von Grenzwerten und Referenzwerten

### Änderungen des Sicherheitsbewusstseins

Es ist eine Sache, Grenz- oder Referenzwerte zu empfehlen, eine andere ist es, sie zu begründen. In ICRP 26 [18] wurde im Jahr 1977 als Begründung für den Grenzwert der beruflichen Strahlenexposition (damals 50 mSv im Kalenderjahr) angegeben, dass die mit der Ausschöpfung des Grenzwertes verbundenen Strahlenrisiken vergleichbar seien mit den beruflichen Unfallrisiken in sogenannten sicheren Berufen. Mit ICRP 60 [19] wurde 1990 der Grenzwert der beruflichen Strahlenexposition auf 20 mSv im Kalenderjahr gesenkt. Dies war nicht

die Folge eines geänderten Sicherheitsbewusstseins, sondern ist der Tatsache geschuldet, dass neuere Ergebnisse der Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki zeigten, dass das Strahlenrisiko eher durch ein multiplikatives als durch ein additives Risikomodell beschrieben werden kann und damit das Gesamtrisiko stieg. Die Begründung aus ICRP 26 wurde zwar nicht explizit erwähnt, aber galt fort. Auch ICRP 103 [17] gibt keine neue Begründung.

Nun hat sich seitdem viel geändert. Ein sich fortentwickelndes Sicherheitsbe-

wusstsein in vielen Bereichen der Technik, die Einführung einer Sicherheitskultur mit dem Ziel „0 Opfer“ und große Anstrengungen, die Sicherheit in vielen Bereichen des Berufslebens zu verbessern, haben über die Jahrzehnte zu einer sehr deutlichen Verringerung der Unfallzahlen geführt. Daher kann heute der Vergleich mit sogenannten sicheren Berufen nicht mehr zur Begründung des Grenzwertes

der beruflichen Strahlenexposition herangezogen werden. Derzeit arbeitet eine Arbeitsgruppe der SSK an einer Stellungnahme zu diesem Problem.

### Was ist tolerabel, was ist akzeptabel?

Aus heutiger Sicht erscheint es problematisch, stochastische Schäden nach Strahlenexpositionen, die keine Unfallsituationen darstellen, mit Unfallschäden zu vergleichen. Eher bietet sich ein Vergleich mit Festlegungen des Arbeitsschutzes beim Umgang mit kanzerogenen oder mutagenen Stoffen (ohne Unfallszenarien) an. Eine der wesentlichen Schlussfolgerungen ist jedoch, dass es für die Festlegung von Grenz- und Referenzwerten keine wissenschaftliche Begründung gibt. Die Wissenschaft kann lediglich die Konsequenzen einer Grenz- oder Richtwertsetzung quantifizieren, nicht aber entscheiden, was tolerabel oder akzeptabel ist. Für die Festlegung ist gesellschaftlicher Konsens erforderlich.

Der Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) in der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin hat ein Risikokonzept für krebserzeugende Stoffe am Arbeitsplatz vorgelegt [1], das unter Beteiligung der betroffenen gesellschaftlichen

Gruppen erarbeitet wurde. Es ist ein sogenanntes Ampelmodell, bei dem die Risiken in einen roten Bereich intolerabler Risiken, einen gelben Bereich zwischen einer Toleranzschwelle und einer

Akzeptanzschwelle und einen grünen Bereich akzeptabler Risiken unterhalb der Akzeptanzschwelle eingeteilt werden.

Die Gefahrenschwelle des Ampelmodells entspricht im Strahlenschutz bei geplanten Expositionssituationen dem Grenzwert und im gelben Bereich gilt – wie beim Umgang mit kanzerogenen Stoffen am Arbeitsplatz – der Grundsatz der Optimierung. Für die Besorg-

nisschwelle gibt es derzeit kein Pendant im Strahlenschutz. Dies bleibt – wie die Frage des „de minimis“ bei der Optimierung – zukünftigen Diskussionen vorbehalten.

Auf die Zahlenwerte der Risikoschwellen soll hier nicht näher eingegangen werden. Sie hängen von einer Vielzahl von Annahmen ab und die Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Gefährdungsbereichen lässt noch zu wünschen übrig. Jedoch scheint die Methodik ein gangbarer Weg zur einheitlichen Beurteilung kanzerogener und mutagener Noxen zu sein.

Auch international werden derartige Modelle benutzt, zum Beispiel durch die Britische Health and Safety Executive in ihrer „Guidance on As Low As Reasonably Practicable (ALARP) Decisions“ in „Control of Major Accidents Hazards (COMAH)“ ([www.hse.gov.uk/foi/internalops/hid\\_circs/permissioning/spc\\_perm\\_37/](http://www.hse.gov.uk/foi/internalops/hid_circs/permissioning/spc_perm_37/)). Eine Stellungnahme und Empfehlung der Strahlenschutzkommission (SSK) bezüglich der Grenzwerte für die berufliche Strahlenexposition wird in diesem Jahr erwartet.

Funktionieren können solche Ansätze zur Festlegung von Grenz- und Richtwerten nur, wenn sowohl bei der Ermittlung der Expositionen als auch der Risiken realistisch vorgegangen wird, das heißt auf der Grundlage der verfügbaren Information beste Schätzwerte zugrunde gelegt werden und eine angemessene Unsicherheitsanalyse vorgenommen wird. Siehe hierzu die Realismusforderung der EU-Grundnormen und eine SSK-Empfehlung zur realistischen Ermittlung der Strahlenexposition [47].

Konservative Ansätze, begründet mit dem Grundsatz der Vorsorge, würden zu inakzeptablen Verzerrungen der Risikoeinschätzungen führen.

### Einheitliche Beurteilung von Noxen

### Multiplikatives Risikomodell

### Gesellschaftlicher Konsens erforderlich

### Realismusforderung der EU-Grundnormen



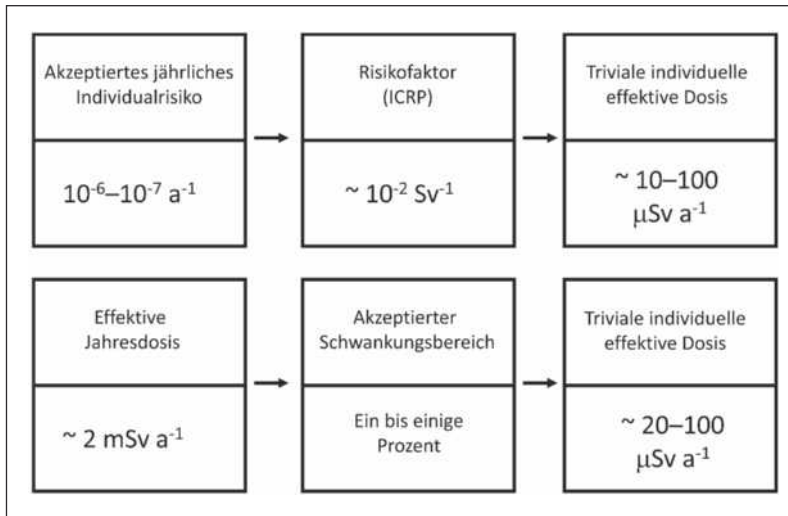


Abb. 13: Ableitungen einer trivialen Dosis über einen risikoorientierten Ansatz und über die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition; nach Dymke [9]

Die Begründung des Grenzwertes für die Exposition von Einzelpersonen der allgemeinen Bevölkerung bei geplanten Expositionssituationen ist sicher-

lich noch schwieriger als die für die berufliche Exposition. Historisch wurden gerne die natürliche Strahlenexposition und ihre Schwankungs-

breite zur Begründung herangezogen. Da hieß es: „Alles, was klein ist gegenüber der Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition, ist akzeptabel.“ Dass ein solcher Ansatz durchaus in grober Übereinstimmung mit einem risikoorientierten Ansatz ist, zeigt Abbildung 13. Aber: Sind natürliche Risiken für die Gesellschaft ein Maßstab für akzeptable Risiken? Die Frage ist auch noch offen und wartet auf Antworten.

Die Begründung der Referenzwerte nach ICRP 103 ist ebenfalls noch vollständig offen. Wenn man sich an die Reaktionen der japanischen Bevölkerung nach dem Unfall von Fukushima erinnert, dann ist die immer wieder gehörte Frage: Ist es sicher? Auch auf diese Frage hat der Strahlenschutz bisher keine Antwort gegeben.

In jedem Fall benötigt die Begründung von Grenzwerten die Abwägung von unterschiedlichen und nicht immer

vergleichbaren Werten. Damit kommen philosophische, ethische und die verschiedensten gesellschaftlichen Aspekte ins Spiel. Dies wurde inzwischen auch von der ICRP erkannt, die ihre Empfehlungen für Grenz- und Referenzwerte in ICRP 103 zwar mit Beteiligung der Öffentlichkeit, aber doch autonom erarbeitet hat.

## Ethische Grundlagen und Strahlenschutzkultur

### ICRP-Empfehlungen

Die ICRP hat eine „Initiative on Ethics in Radiological Protection“ gegründet. Das ICRP-Komitee 4 soll die ethischen Grundlagen des Strahlenschutzes herausarbeiten (Abb. 14). Jacques Lochard hat in einem Plenarvortrag auf der europäischen IRPA-Tagung in Genf im Jahr 2014 den Stand der Beratungen vorgetragen. Ein Problem für die Etablierung einer einheitlichen ethischen Grundlage besteht darin, dass unterschiedliche Kulturkreise mit unterschiedlichen Weltanschauungen, Werten und ethischen Maßstäben existieren und ICRP-Empfehlungen international anwendbar sein müssen. Man hat daher einen interkulturellen An-

### ... Fortbildung

Radioisotopenkurs (SA210)

10. – 27.10.16

> Grundkurs (SA211)

10. – 21.10.16

Erkennungs-, Nachweis- und

Vertrauensgrenzen (SA252)

20. – 21.09.16

Gamma-Spektrometrie -

Aufbaukurs (SA271)

14. – 15.11.2016

Einführung in den Strahlenschutz

(ST010)

29.11. - 02.12.16

Aktualisierung der Fachkunde:

- § 30 StrlSchV (ST101)

13. – 14.09.16

- § 15 StrlSchV (ST102)

> jeweils 1. Kurstag ST101

Fachkunderwerb - Umgang mit

radioaktiven Stoffen (ST110)

05. – 09.12.16

Fachkunderwerb -

Umschlossene radioaktive Stoffe

erhöhter Aktivitäten (ST115)

19. – 23.09.16, 05. – 09.12.16

Fachkunderwerb - Eingebaute

radioaktive Strahler (ST130)

05. – 06.12.16

Fachkunderwerb -

Beschäftigung nach

§ 15 StrlSchV (ST171)

05. – 07.10.16

Aktualisierung nach § 18a RöV

Technik (SR600)

06.09.16, 08.11.16

Strahlenschutz bei

Röntgeneinrichtungen im

nichtmedizinischen Bereich

(SR610)

21. – 24.11.16

Wartung und Instandhaltung von

Röntgeneinrichtungen mit QS

nach §§ 16/17 RöV (SR660)

21. – 25.11.16

Laserschutzbeauftragter in

Medizin und Technik (SN820)

06. – 07.10.16

> Unser Kursangebot 2017 liegt

voraussichtlich ab September

d.J. verbindlich vor.

**Karlsruher Institut**

**für Technologie (KIT)**

**Fortbildungszentrum**

**für Technik und Umwelt (FTU)**

Hermann-von-Helmholtz-Platz 1

76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Fon: 0721 608-24801

Fax: 0721 608-24857

E-Mail: [info@ftu.kit.edu](mailto:info@ftu.kit.edu)

[www.fortbildung.kit.edu](http://www.fortbildung.kit.edu)

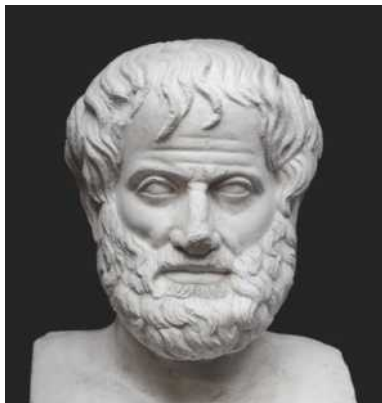


Abb. 14: Aristoteles begründete die Ethik als eigenständige philosophische Disziplin. Der Strahlenschutz arbeitet jetzt daran, seine ethischen Grundlagen klar zu formulieren. Foto: midosemsem – Fotolia.com

satz gewählt und in einer ganzen Reihe von internationalen Zusammenkünften die Gemeinsamkeiten und Unterschiede auszuloten versucht.

Nach seinen Ausführungen beruht das System des Strahlenschutzes auf 3 wesentlichen Theorien der Ethik:

- der sogenannten Tugendethik,
- der deontologischen Ethik und
- der utilitaristischen Ethik.

Es wurde ein Satz ethischer Werte identifiziert, den die meisten Wertesysteme gemeinsam haben oder die die weitestmögliche Akzeptanz in den verschiedenen Kulturen haben. Diese

Werte befinden sich in relativ guter Übereinstimmung mit den ICRP-Grundsätzen des Strahlenschutzes:

- **Gutes und nicht Übles wollen:**  
Mehr Nutzen als Schaden erzeugen.
- **Besonnenheit und Angemessenheit:**  
Halte Expositionen so niedrig wie sinnvollerweise möglich (ALARA).
- **Gerechtigkeit, Erträglichkeit und Fairness:**  
Überschreite nicht die Werte der Exposition, die gesellschaftlich für inakzeptabel gehalten werden, und reduziere unfaire Dosisverteilungen.
- **Würde und Eigenständigkeit:**  
Behandle Menschen mit Respekt und beteilige Stakeholder.

Die ICRP-Initiative wird auch von der IRPA unterstützt, eine abschließende Stellungnahme oder Empfehlung ist aber noch nicht verfügbar.

Die ethischen Grundlagen des Strahlenschutzes sind aber nur ein Aspekt einer Kultur des Strahlenschutzes, die als inhaltlich, kategorisch/praktisch, gesellschaftlich und tradierend benannt werden kann. Die ethischen Grundlagen sind Teil des inhaltlichen Aspekts, der die Einstellungen, Überzeugungen, Auffassungen, Werte und Ziele einer Kultur charakterisiert. Inzwischen hat die IRPA eine Initiative zur Definition und praktischen Umsetzung einer Strahlenschutzkultur gestartet und „Guiding Principles for Establishing a

Radiation Protection Culture“ publiziert [20] (siehe Kasten unten).

Inhaltlich sind die „Guiding Principles“ stark von der Entwicklung der Sicherheitskultur geprägt; einem Konzept, das sich in den letzten 30 Jahren entwickelt hat.

Man erinnere sich daran, dass in INSAG-1 die Ursachen für den Unfall von Tschernobyl mit einer dort nicht existierenden Sicherheitskultur erklärt wurden. Getragen wird die Idee der Sicherheitskultur von der Vorstellung, dass die Sicherheit verbessert werden kann, wenn ein Prozess, der durch die sogenannte Bradley-Kurve beschrieben wird, die Bemühungen um Sicherheit aus den Bereichen natürlicher Instinkte gebändigt durch Regeln und die Überwachung mittels geeigneter Systeme in eine Kultur des Verhaltens des Einzelnen und der Gemeinschaft führt. In Abbildung 15 ist dies auf den Strahlenschutz übertragen. In der Sicherheitskultur ist das erklärte Ziel „0 Opfer“. Trotz weitgehender Ähnlichkeit von Sicherheits- und Strahlenschutzkultur bleibt da ein wesentlicher Unterschied. Im Strahlenschutz wird ein „0 Opfer“-Ziel nie erreichbar sein. Immer wird es aufgrund der Annahme des LNT-Modells

## Initiative der IRPA zur Strahlen- schutzkultur

## Der etwas andere Kommentar, heute zum Thema: 50 Jahre Fachverband II

50 Jahre – ein Einschnitt,  
doch wahrlich kein Ende!  
Vielfach geht jetzt die Arbeit  
in jüngere Hände.

Unser Weg ist gemacht,  
und es wär' doch gelacht,  
wenn sich da nicht geeigneter  
Nachwuchs fände!

Rupprecht Maushart, Straubenhardt

### IRPA: Guiding Principles for Establishing a Radiation Protection Culture

Zitat: „The purpose of ‘IRPA Guiding Principles for Establishing a Radiation Protection Culture’ is to capture the opinion and standpoint of radiation protection (RP) professionals on the essential components of a radiation protection culture. Developed in an inclusive and consultative approach involving all the stakeholders, this document aims at both fostering a belief in the success of cultural approaches, and providing guidance to help equip radiation protection professionals to promote a successful RP culture in their organisation and workplace. It should help RP practitioners in establishing their own practical guidelines and recommendations, commensurate with their own specific issues and should be owned at the highest management level in organizations.“

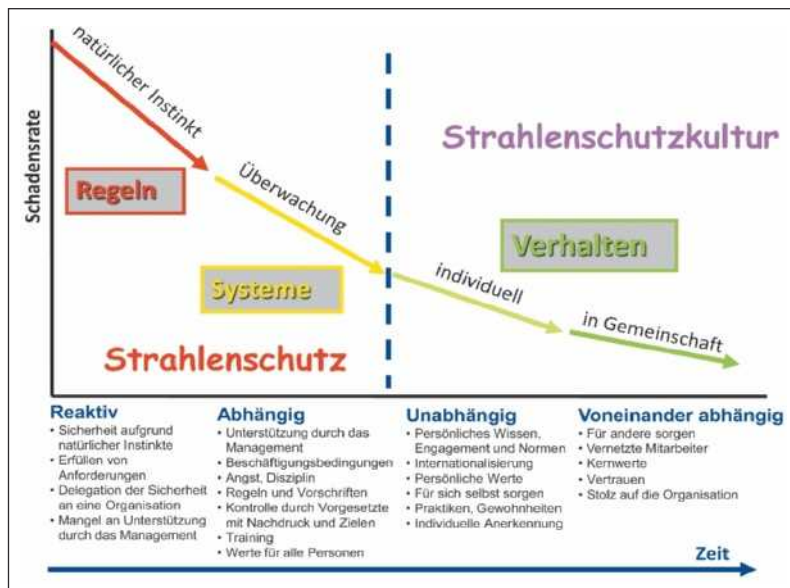


Abb. 15: Die sogenannte Bradley-Kurve der Sicherheitskultur angewandt auf die Entwicklung vom Strahlenschutz zur Strahlenschutzkultur

hypothetische, aber unsichtbare Opfer geben. Dieses Problem und das generelle Thema einer Strahlenschutzkultur habe ich ausführlich an anderer Stelle in dieser Zeitschrift diskutiert [26].

### Wo stehen wir heute?

Nach den „Guiding Principles“ der IRPA steht nun die Frage der praktischen Umsetzung im Raum. Über die Inhalte ist man sich weitgehend klar, und man wird sehen, ob die Bemühungen erfolgreich sind. Die Diskussion der letzten Jahre hat aber die Strahlenschutzkultur fokussiert und eingeschränkt auf die Praktiker, die sie in den Institutionen und Organi-

sationen auf den unterschiedlichsten Verantwortungsebenen gestalten. Ich bin nach wie vor der Ansicht, dass dies zu kurz greift, dass Strahlenschutzkultur ein Teil der gesamten Kultur einer Gesellschaft sein sollte. In der derzeitigen von der IRPA favorisierten Ausprägung wird die Strahlenschutzkultur eine Subkultur bleiben, die von der Gesellschaft als Ganzes nicht geteilt wird. Solange nicht einmal die Strahlenschutzgrundsätze allgemein akzeptiert

werden, obwohl sie im Strahlenschutzregelwerk gesetzlich verankert sind, kann man nicht damit rechnen, dass unsere Gesellschaft eine Strahlenschutzkultur ihr Eigen nennt. Als Beispiel sei hier ein Beitrag aus der Bundestagsdebatte zur Verabschiedung der sogenannten „Lex Asse“ [23] angeführt, mit der die Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse II festgeschrieben und Regelungen zu ihrer Beschleunigung getroffen wurden. Im Gesetzgebungsfahren wurden die Grundsätze des Strahlenschutzes auf die Dosisbegrenzung beschränkt. In der Bundestagsdebatte vom 28. Februar 2015 wird diese Änderung wie im Kasten beschrieben erläutert.

Die 3 Strahlenschutzgrundsätze sind aber ein unverzichtbarer kategorischer Teil der Strahlenschutzkultur, der anscheinend in unserer Gesellschaft nicht Teil der allgemeinen Kultur geworden ist. Ein weiterer Aspekt ist, dass zu den inhaltlichen Aspekten einer Kultur ein gemeinsamer Wissensschatz und eine einheitliche epistemologische Methodik gehören. Dies soll nicht bedeuten, dass jeder den gleichen Wissensstand haben muss.

Ein grundsätzliches Problem, das einer Einbettung der Strahlenschutzkultur in unsere allgemeine Kultur entgegensteht, ist das Problem der Risikowahrnehmung. Die Diskussionen in unserer Gesellschaft sind geprägt von ganz verschiedenen Wahrnehmungen der Risiken von Radioaktivität und Strahlung. Dies hat zu äußerst unterschiedlichen Standpunkten und im Falle der Kernenergienutzung zu extremen Verwerfungen in unserer Gesellschaft geführt. Auch nach dem Ausstiegsbeschluss der Bundesregierung dauern diese Verwerfungen an und finden ihren Ausdruck im politischen Streit um die Endlagerung radioaktiver Abfälle. Wenn man dies verstehen möchte, muss man sich nach meiner Ansicht mit der Einstellung unserer Gesellschaft zu Radioaktivität und Strahlung befassen. Dies geschieht im folgenden Kapitel, in dem die wesentlichen Einflussfaktoren in ihrer zeitlichen Abfolge behandelt werden.

## Strahlenschutzkultur keine Subkultur!

### Deutscher Bundestag 2013, Seite 28001

„Wir haben nach der Anhörung zur ‚Lex Asse‘ Änderungen vorgenommen. ... Wir haben uns vor allem davon verabschiedet, die Grundsätze des Strahlenschutzes als mögliche Abbruchkriterien zu benennen. Benannt wird als beispielhaftes Kriterium jetzt nur noch die Dosisbegrenzung. Was wir damit in diesem Gesetzesentwurf zum Ausdruck bringen wollen, ist ausdrücklich, dass sowohl die Rechtfertigung der Rückholung als auch das Minimierungsgebot ... kein Abbruchkriterium sein werden. ... Wir wollen zum Ausdruck bringen ..., dass die Rechtfertigung der Rückholung mit dem Ziel der Rückholung als Vorzugsoption nicht vereinbar ist.“

# Die Geschichte der Radioaktivität – Von der Euphorie zur Radiophobie

## Einstellungen in unserer Gesellschaft zu Radioaktivität und Strahlung

Mit dieser Kapitelüberschrift ist alles zur heutigen Einstellung großer Teile unserer Gesellschaft zu Radioaktivität und Strahlung – und damit auch zum Strahlenschutz – gesagt; siehe hierzu Michel [27]. (Abb. 16)

### Röntgenstrahlung und Radium

Die Entdeckung der Röntgenstrahlung, der Radioaktivität und des Radiums fiel in eine Zeit des Glaubens an die Wissenschaft und den technischen Fortschritt. Die Segnungen der Röntgenstrahlung waren offensichtlich und Radium war wie der Stein der Weisen der Alchemisten. Die schädigenden Wirkungen und die therapeutischen Erfolge der mit keinem der menschlichen Sinne erfassbaren Radium- und Röntgenstrahlung zeigten, dass diese Strahlen Macht über Leben und Tod verliehen. Radioaktivität und Strah-

lung weckten archetypische Bilder in den Köpfen der Menschen [57]. Man wusste auch schon durch Albert Einstein, welche ungeheuren Energien in den Atomkernen schlummerten, doch man hatte noch keine Möglichkeit gefunden, sie freizusetzen.

Mit dem Ersten Weltkrieg, der großen Wirtschaftskrise der 1920er-Jahre und dem Zweiten Weltkrieg waren die Gedanken der Menschen mit vielfältigen drohenden Gefahren und dem Tod vieler Nahestehender befasst. Raum, sich über Radioaktivität und Strahlung Gedanken zu machen, blieb da Sache der Wissenschaftler, Techniker und Science Fiction-Schreiber. Der Glaube an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt als ein Weg in eine glänzende Zukunft der Menschheit ging verloren.

### Kernspaltung

Nahezu unbemerkt von der Öffentlichkeit wurde dann mit der Entdeckung des Neutrons durch James Chadwick und der Kernspaltung durch Otto Hahn und Fritz Straßmann die Möglichkeit zur Nutzung der Kernenergie – zum Bösen und zum Guten – eröffnet. Hiroshima, Nagasaki, der Kalte Krieg und die nukleare Hochrüstung bis zu den Möglichkeiten, die Menschheit mehrfach auszulöschen, ließen die

archetypischen Bilder in den Köpfen der Menschen Realität werden. Es gab zwar auch die andere Sichtweise, dass die Zähmung des neuen Feuers den Menschen unermessliche Energiequellen eröffnen könnten und die Menschheit in eine Zukunft des Überflusses führen würden.

Doch da waren auch die Risiken. Man hatte in Hiroshima und Nagasaki den Anstieg von Krebs und Leukämie gesehen. Die Möglichkeit von Folgeschäden in zukünftigen Generationen weckte in Verbindung mit der globalen Kontamination durch die oberirdischen Kernwaffenexplosionen besondere Ängste. Von besonderer Qualität war der stochastische Charakter dieser Schäden, der die Phänomene Radioaktivität und Strahlung noch unheimlicher machte. Viele konnten die Ängste und Versprechungen nicht mehr gegeneinander ausbalancieren. Diskussionen um die Sicherheit der neuen Kernreaktoren begannen und ein bis dahin kaum gekannter Aufwand an Sicherheitstechnik wurde zur Zähmung des neuen Feuers aufgewendet.

### Diskussionen um die Sicherheit der friedlichen Nutzung der Kernenergie

In der Zeit der Diskussionen um die Sicherheit der friedlichen Nutzung der Kernenergie begannen vielfältige Umbrüche, die sich am Stereotyp der 1968er-Bewegung festmachen lassen. Es kam der Zweifel an der Autorität der Wissenschaft und der Wirtschaft, der Behörden und staatlicher Funktionsträger sowie der Parteien und Regierenden auf. Es entstand eine Anti-Atomkraft-Bewegung, die zum Ausdruck einer gesellschaftlichen Revolution wurde. Die Frankfurter Schule und die kritische Theorie machten daraus ein politisches Programm. Dann war es jedoch nicht mehr nur die Frage „Nukes or no nukes?“, sondern

**Zweifel an der Autorität der Wissenschaft**

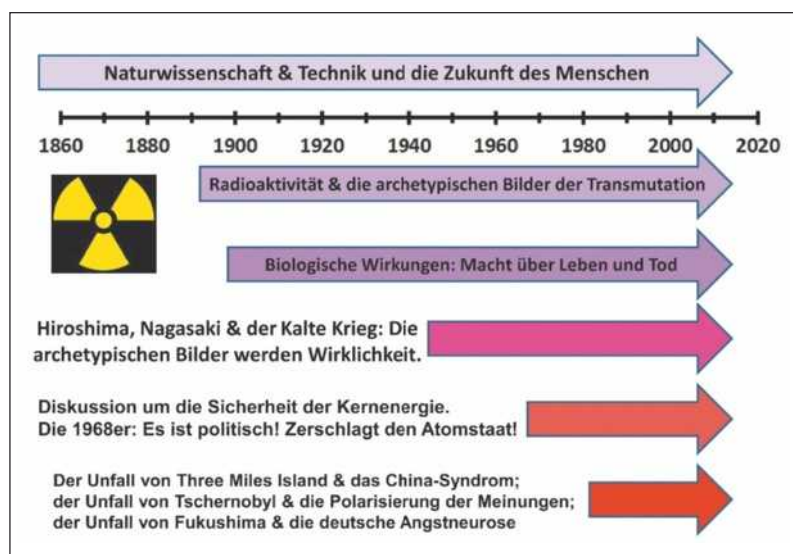


Abb. 16: Faktoren, die den Weg der öffentlichen Wahrnehmung von Radioaktivität und Strahlung von der Euphorie zur Radiophobie beschreiben

„Welche Gesellschaftsform soll es sein?“. Der Slogan war: „Macht kaputt, was euch kaputt macht! Zerstört den Atomstaat!“

Es gab eine ganze Reihe von Synergien für die Anti-Atomkraft-Bewegung.

## Bedrohungspotenzial der Kernenergie

In den 68er-Bewegungen kamen zusammen und verstärkten einander die ökologische Bewegung, die Friedensbewegung und die sozial-revolutionäre Bewegung. Ab 1973 waren auch die deutschen Massenmedien gegen Kernenergie. Der Rahmen war das Bedrohungspotenzial der Kernenergie. Es war jetzt politisch!

### Unfall von Three Miles Island

Es gab auch eine Fülle von Realitäten, die an den Versprechen der Kernenergie zweifeln ließen. Altlasten der militärischen Kernwaffenprogramme sowie kleine und größere Vorkommnisse und Unfälle zeigten, dass auch die Risiken, die in den Köpfen der Menschen in Bildern verankert waren, real waren. Die wichtigsten Realitäten mit enormen Auswirkungen auf die öffentliche Wahrnehmung waren aber die Unfälle von Three Miles Island (TMI), Tschernobyl und Fukushima Dai-ichi.

Besser hätte die zeitliche Abstimmung nicht sein können. Am 16. März 1979 kam der Film „Das China-Syndrom“ in die Kinos. „Das China-Syndrom“ ist ein US-amerikanischer Spielfilm, der sich kritisch mit der wirtschaftlichen Nutzung der Kernenergie auseinandersetzt. In dem Film wird ein fiktiver Störfall in einem amerikanischen Kernkraftwerk beschrieben, dessen Ursache sowohl in technischem als auch menschlichem Versagen liegt. 12 Tage später, am 28. März 1979, kam es im Kernkraftwerk in Three Miles Island (TMI) zu einer Kernschmelze.

Die Kernschmelze in TMI war die Folge eines „kleinen“ Lecks im Primärkreislauf. Die Ursachen lagen in mangelhafter Leittechnik und menschlichen Fehlern. Es wurden weniger als  $10^{12}$  Bq  $^{131}\text{I}$  über ein Hilfsanlagengebäude freigesetzt. Die maximalen effektiven Dosen für Einzelpersonen der Bevölkerung lagen bei 1 mSv. Es wurden keine gesundheitlichen Folgen beobachtet. Aber es gab riesige Kommunikationsprobleme und große Verwirrung.

Der Begriff „China-Syndrom“ hat sich als SUPER-GAU in die Gehirne der

Menschen unauslöschlich eingebrannt. Er ist so schön bildhaft. Was er radiologisch bedeutet, wurde allerdings bisher nicht kommuniziert.

### Unfall von Tschernobyl

Am 26. April 1986 explodierte Block 4 des Kernkraftwerks in Tschernobyl. Es handelte sich um einen RBMK-Reaktor, einen mit Graphit moderierten Siedewasserreaktor mit Druckröhren. Im Rahmen eines Experimentes kam es zu einer unkontrollierten Leistungsexkursion aufgrund von inhärenter Unsicherheit des Reaktortyps, Designmängeln, Managementfehlern und menschlichem Fehlverhalten. Ein großer Teil des Reaktorgebäudes wurde weggesprengt. Der Reaktorkern lag

offen. Ein Graphitbrand und die Schmelze des restlichen Kerns verursachten riesige Freisetzungen radioaktiver Stoffe, die große Teile Europas kontaminierten und großflächige Evakuierungen und Umsiedlungen erforderlich machten. Siehe hierzu z. B. [49, 45].

Der Unfall von Tschernobyl (Abb. 17) im Jahr 1986 war die Erfüllung der Prophezeiungen der Kassandren der Sicherheitsdiskussion. Alle Ängste und Bilder der Vergangenheit wurden

## Kommunikationsprobleme

Anzeige

## Messgeräte für den persönlichen Strahlenschutz zur Erfassung ionisierender Strahlung

### Elektronische Dosimeter:

GPD150G und ED150 mit akustischer sowie optischer Warnung beim Überschreiten der akkumulierten Dosisgrenzen. Klein und robust.



**Dosisleistungswarngeräte:**  
GammaSmart one/two und GWL10m mit optischer und akustischer Warnung



**Raumüberwachungsmonitor:**  
WS05C-1/C-2/C-3 mit optischer und akustischer Warnung zur Dosisleistungsüberwachung von Bestrahlungsräumen



**Dosisleistungsmessgeräte:**  
XSC plus und GammaTwin zur Messung von  $\gamma$ - und Röntgenstrahlung mit vier Dosis- und Dosisleistungswarnschwellen



**GRAETZ Strahlungsmeßtechnik GmbH**  
Westiger Str. 172, 58672 Altena • Postfach 8100, 58674 Altena  
Tel. +49 2352 7007-0 • Fax +49 2352 7007-10  
E-Mail: info@graetz.com • Website: www.graetz.com

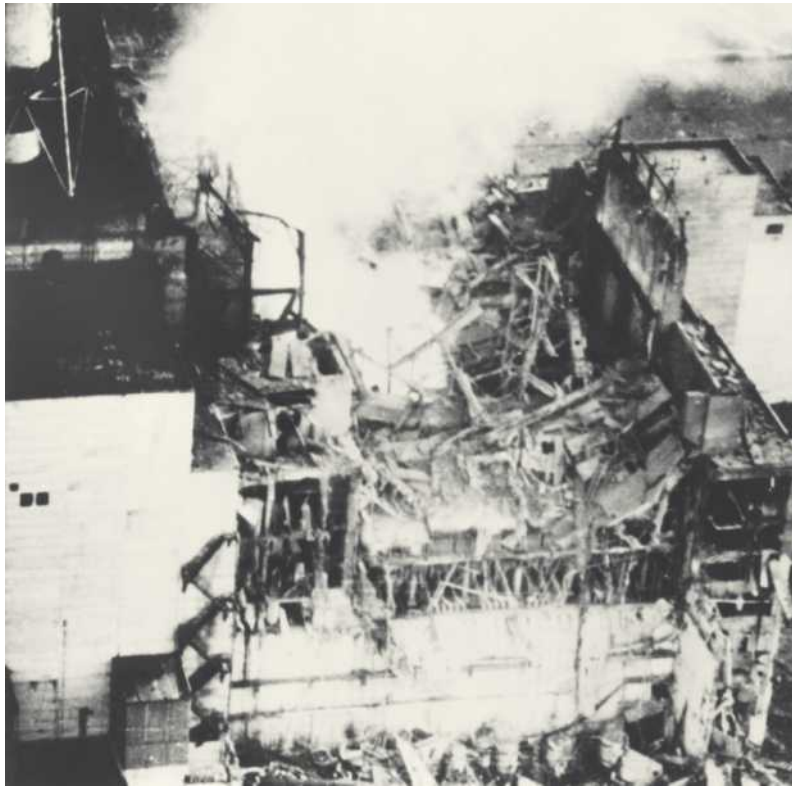


Abb. 17: Block 4 des Kernkraftwerks in Tschernobyl am 26. April 1986; Foto: akg-images

jetzt in die Realität dieses Unfalls projiziert. Die Umstände des Notfallmanagements in der UdSSR verstärkten die Wirkung. Die Stichworte dazu sind mangelnder Notfallschutz, Missachtung der eigenen Bevölkerung und Geheimhaltung auch vor den Bruderstaaten.

Im totalitären Staat der Geheimhaltung entwickelt sich eine Subkultur der Opfer. Es kam zum Zusammenbruch des Systems. Wohlbegründete

Referenzwerte, wie das 350-mSv-pro-Lebenszeit-Konzept, wurden in der Perestroika gegen einen Grenzwert von 1 mSv pro Jahr aufgegeben. Man beobachtete erlernte Hilflosigkeit in der betroffenen Bevölkerung von

Weißrussland und der Ukraine bis in die 1990er-Jahre.

In Deutschland führte der Reaktorunfall von Tschernobyl im Jahr 1986 zu einer beispiellosen Emotionalisierung und Verhärtung der Kernenergie-

debatte. Auch sah man eine frühe Manifestation der „German Angst“. Die Angst vor Radioaktivität und Strahlung war sogar Ursache von Abtreibungen und Auswanderungen. Allerdings wurde die Situation nicht überall so kritisch gesehen wie in Deutschland. Typisch für die Reaktionen auf den Unfall von Tschernobyl war, dass sich die Prioritäten der Menschen von der Abwendung von akuten Gefahren zur Vermeidung von Risiken gewandelt hatten. Das kostete den Innenminister Friedrich Zimmermann im Jahr 1986 sein Amt, als er – richtigerweise – davon sprach, in Deutschland bestünde durch den Unfall von Tschernobyl keine Gefahr. Das reichte bei Weitem nicht aus.

Die Nachkriegszeit hatte Wohlstand und – trotz des Kalten Krieges – relative Sicherheit für die Menschen gebracht, und je besser es einem geht, umso mehr fürchtet man Risiken. Die radiologischen Risiken stochastischer Strahlenschäden waren das eigentliche Thema.

International bewirkte der Unfall von Tschernobyl im Jahr 1986 eine extreme Polarisierung der Wahrnehmungen, Meinungen und Einstellungen. Da gab es zum einen den wissenschaftlichen Mainstream, beispielhaft vertreten durch IAEA, UNSCEAR, WHO und eine deutliche Mehrheit der Wissenschaft, und zum anderen Gruppen und Personen, für die Tschernobyl zum Fanal der Kernenergie und zur Wurzel allen Übels in der zerfallenden UdSSR wurde.

Ich überspringe weitere wesentliche Aspekte der 1980er-Jahre wie den NATO-Doppelbeschluss, die Nachrüstung und die Mittelstreckenraketen sowie die massiven Reaktionen der Friedensbewegung, die ebenfalls ihre Auswirkungen auf die Einstellungen der Menschen hatten.

In den 1990er- und den folgenden Jahren setzt sich der Trend der Pola-

risierung der Meinungen fort: Aber Kerntechnik und Radioaktivität müssen doch schuld sein!! Dabei hilft selektive Wahrnehmung. Die Folgen des Unfalls von Tschernobyl müssen doch entsetzlich sein. Doch die Effekte sind meist zu klein, um etwas zu erkennen. Da die Strahlenexpositionen langfristig gering sind, müssen kleine Dosen also gefährlich sein. Wenn keine kleinen Dosen da sind, muss man sie finden: Beispiele sind radioaktive Kügelchen in der Elbmarsch, die KiKK-Studie und die Gefährdung durch die radioaktiven Abfälle in der Asse. Politik mit der Angst!

Anfang 2011 wurde der Atomausstieg zwar beschlossen, aber die Angst vor dem Ausstieg aus dem Ausstieg war ein wichtiges Thema in der gesellschaftlichen Diskussion, die auch heute im Jahr 2016 noch die Diskussion um die Endlagerung und die Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II als verborgene Agenda beeinflusst.

## Polarisierung der Meinungen

## Bei Gefahr kümmert man sich nicht um Risiken

## Politik mit der Angst

### Und parallel dazu gab es dann noch die nukleare Renaissance

„Nach dem Unfall von Three Mile Island wurden viele Bauaufträge für Kernkraftwerke storniert. Der Bau neuer Kernkraftwerke kam praktisch zum Erliegen. Die Diskussion um die Klimaveränderungen und die Möglichkeit, mittels Kernenergie CO<sub>2</sub> bei der Elektrizitätserzeugung einzusparen, haben zu einem Umdenken geführt. In der Kernenergiewirtschaft sprach man seit etwa 2001 von „nuklearer Renaissance“ in der Hoffnung auf ein großes Comeback der Kernenergie.“ ([www.whatisnuclear.com/articles/renaissance.html](http://www.whatisnuclear.com/articles/renaissance.html))

#### Unfall von Fukushima Dai-ichi

Am 11. März 2011 um 14.46 Uhr ereignete sich ein Erdbeben der Stärke 9,0 vor der Küste Tohokus in Japan. Etwa eine Stunde nach dem Erdbeben verwüstete ein 7- bis 15-m-Tsunami die Küsten Nord-West-Japans. Mehr als 28.000 Tote und Vermisste wurden als Folge von Erdbeben und Tsunami gezählt. Im Kernkraftwerk Fukushima Dai-ichi fiel als Folge des Tsunamis in 3 Reaktorblöcken die Kühlung aus und es kam zu Kernschmelzen, in deren Folge sich 3 Wasserstoffexplosionen und das Versagen eines Sicherheitsbehälters ereigneten (Abb. 18). Große Mengen

die zwar meist über dem Pazifik niedergingen, von denen jedoch ein Teil zu massiven Kontaminationen auf dem Festland führte. Bezüglich einer ausführlichen Darstellung des Unfalls und seiner radiologischen Konsequenzen sei auf den Bericht von UNSCEAR [53] verwiesen.

Die Wahrnehmung des Unfalls von Fukushima Dai-ichi wurde durch Medienpräsenz massiv gesellschaftlich verstärkt. Alles war live im Fernsehen. Dies war der absolute Gegensatz zur Lage nach dem Unfall von Tschernobyl. Zudem gab es innerhalb weniger Tage eine Fülle von Information im Internet für die, die sie verstehen konnten und wollten.

### Fukushima – Realität und Wahrnehmung



Abb. 18: Fukushima Dai-ichi am 15.3.2011; Foto: Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc.

Es gab kein Herrschaftswissen mehr, keine Interpretationshoheit über die Information.

Die Informationspolitik in Japan, die anfänglich große Defizite aufwies, wurde sehr schnell an die Anforderungen des Internetzeitalters angepasst. Allerdings gelang es der japanischen Regierung nicht, die im Internet publizierten Daten den Menschen glaubhaft zu vermitteln und zu erklären.

Das Medienecho war ein Desaster. Dort interessierten nur die Reaktoren, die Opfer der Naturkatastrophe waren deutlich unwichtiger. Katastrophenmeldungen über Fukushima Dai-ichi dominierten selbst in den sogenannten seriösen Medien. Die sachliche Berichterstattung hatte nahezu keinen Platz. In den sozialen Medien wurden die Angst und die Lust am Untergang ausgelebt. Es kam die große Stunde der Weltuntergangspropheten und Betroffenheitsapostel und der Falschinformation. Diverse machten und machen „Niedrigstrahlung“ für alles verantwortlich.

#### Aktuelle Diskussionen in Deutschland

Der heutige Zustand wird dadurch charakterisiert, dass in Deutschland die gesamte Diskussion immer noch auf Kernenergie fokussiert ist, die Risiken von Radioaktivität und Strahlung und der Strahlenschutz sind nur Werkzeuge in diesen Diskussionen. Die vielfältigen Anwendungen von Radioaktivität und Strahlung außerhalb der friedlichen und militärischen Nutzung der Kernenergie sind meist kein Thema der öffentlichen Diskussion. Zwar wurde im Jahr 2011 unter dem Eindruck der Reaktorunfälle von Fukushima Dai-ichi der Ausstieg aus der Kernenergie beschlossen, aber die Politik mit der Angst musste bleiben. Jetzt müssen die radioaktiven Abfälle und die Endlagerung als Gründe

### Medienecho ein Desaster

### Politik mit der Angst

dienen. Die Angst vor einem Revival der Kernenergie bleibt im gesellschaftlichen Raum bestehen. Darum ist zum Beispiel auch die Schachanlage Asse II so wichtig.

Unabhängig davon bleibt die Frage: Hat unsere Gesellschaft ein Problem mit dem Risiko und speziell mit dem Risiko von Radioaktivität und Strahlung? Meine Antwort ist Ja. Wichtig sind die Mechanismen der Risikowahrnehmung und das Phänomen der deutschen Angst.

## Strahlenschutz und Risikowahrnehmung

### Wahrnehmung von Radioaktivität und Strahlung und der mit ihnen verbundenen Risiken durch die Gesellschaft

In einem Beitrag zur LPS-Sommerschule im Jahr 2015 habe ich mich ausführlich mit diesem Thema befasst [29]. Hier soll nur das Notwendigste wiederholt werden. Kernpunkt meines Ansatzes ist, dass ein Verständnis nur multidisziplinär erreicht werden kann, wobei nicht nur wissenschaftliche Erkenntnisse zum Tragen kommen, sondern auch die anderen berücksichtigt werden müssen, die für die Wahrnehmung von Radioaktivität und Strahlung und die mit ihnen verbundenen Risiken durch die Gesellschaft augenscheinlich wichtiger sind als die wissenschaftlichen Befunde.

#### Da ist zuerst die Frage:

#### Was ist Risiko?

Wir kennen vielfältige Risiken: Gesundheitsrisiken, finanzielle Risiken, technologische Risiken, politische Risiken, Umweltrisiken, natürliche Risiken, Lifestyle-Risiken, militärische Risiken, terroristische Risiken, chemische Risiken, genetische Risiken etc. Die Liste ist endlos.

Wir kennen auch Strahlenrisiken, das heißt das Risiko, deterministische

Effekte zu erleiden, strahlenbedingt an Krebs oder Leukämie zu erkranken oder genetische Defekte an zukünftige Generationen weiterzugeben. Unter nuklearen Risiken verstehen wir die Risiken eines Krieges mit Kernwaffen, der Endlagerung radioaktiver Abfälle, von Kernkraftwerksunfällen, von Strahlenunfällen, von terroristischen Anschlägen oder radioaktiven Kontaminationen oder ganz allgemein der Kernenergienutzung.

Es genügen 2 Definitionen von Risiko, um das ganze genannte Spektrum abzubilden. Da ist einmal die naturwissenschaftliche Definition

„Risiko =  
Wahrscheinlichkeit × Schaden“

und die andere Definition

„Risiko ist die Gefahr eines Verlustes, real oder wahrgenommen, von etwas, das wir schätzen“<sup>1)</sup>.

Diese beiden Definitionen finden auch ihren Ausdruck im Umgang mit Risiken. Slovic et al. [41] haben 2 Herangehensweisen beschrieben, mit denen Menschen auf Risiken reagieren. Der Umgang mit Risiken kann danach beschrieben werden durch

- „Risiko als Analyse“ (analytisches System) oder
- „Risiko als Gefühl“ (erfahrungsgemäßes System).

Letzteres ist das entwicklungs-geschichtliche und fürs Überleben in realen Gefährdungssituationen wichtigere Verhalten, das aber bei der Beurteilung von komplexen und diffusen Risikosituationen auch leicht zu falschen Reaktionen führt. Dann ist eine analytische Herangehensweise die erfolgversprechendere Methodik für den Umgang mit Risiko. Eine dritte Möglichkeit des Umgangs mit Risiko, die in unserer Gesellschaft nicht selten anzutreffen ist, kann man mit

1) „Risk is a threat of loss, real or perceived, to that which we value.“ [31]

#### ● „Risiko als Politik“

beschreiben. Darauf werden wir noch zurückkommen.

#### Wahrnehmung des Risikos

Es kommt in unserer Gesellschaft nicht auf die Höhe des Risikos, sondern auf die Wahrnehmung des Risikos an. Die entscheidende Komplikation für die Risikowahrnehmung ist, dass der Mensch meist nicht rational vorgeht, sondern dass die Wahrnehmung im erfahrungsgemäßen System weitgehend durch archetypische Festlegungen dominiert wird. Symbole, mit denen Urerfahrungen belegt sind, siegen über die Tatsachen. Die rechte Hirnhälfte siegt über die linke. Risiko ist ganz allgemein schlecht!

Dabei wird oft nicht unterschieden, ob es sich um reale Risiken oder um hypothetische Risiken handelt. Reale Risiken sind solche Risiken, die nach einer Exposition das Auftreten des betrachteten Endpunktes signifikant erhöhen oder epidemiologisch nachweisbar sind. Hypothetische Risiken sind solche Risiken, die nach einer Exposition bei Vorliegen einer plausiblen Hypothese über die Verursachung des Endpunktes rechnerisch

abschätzbar sind, aber weder epidemiologisch nachweisbar sind noch das Auftreten des Endpunktes signifikant erhöhen. Noch komplizierter wird es, wenn die Exposition noch nicht stattgefunden hat, sondern wenn lediglich eine potenzielle Exposition reale oder hypothetische Risiken mit sich bringen würde. Dabei leben wir ständig mit Risiken: realen, hypothetischen und potenziellen. Aber die Wahrnehmung bildet meist die Risiken nicht wirklich ab und wir fürchten uns vor dem Falschen [36]. Daher beschäftigt sich dieses Kapitel mit einigen Faktoren, die die Risikowahrnehmung beeinflussen.

**Symbole  
siegen über  
Tatsachen**

**Wir leben  
ständig mit  
Risiken**



### Einflussfaktoren für die Wahrnehmung von Risiken

Wichtige Einflussfaktoren für die Wahrnehmung von Risiken sind

- Weltsicht, Denk- und Reaktionssysteme,
- Assoziationen, Bilder und Symbolik,
- Realitäten,
- kognitive Dissonanz und
- soziale Verstärkung.

Diese Einflussfaktoren sind vielfach verwoben und wechselwirken miteinander.

Die Weltsicht des Einzelnen wirkt wie ein kognitiver Filter zur Aussonderung von Information [21]. Dabei ist Weltsicht (Worldview) mehr als nur sehen. In der Literatur werden archetypische Formen der Weltsicht genannt. Serge Prêtre [35] unterschied in Bezug auf Wahrnehmung von und Umgang mit

Risiken die Kategorien der Pioniere, der Bürokraten und der „Reinen“. Andere Stereotype der Weltsicht wurden von Paul Slovic [40] als fatalistisch, hierarchisch, individualistisch egalitaristisch und technologisch enthusiastisch bezeichnet. Die Weltsicht bestimmt weitgehend die Denk- und Reaktionssysteme beim Umgang mit Risiken. Manche Welt-

### Gegenwärtige Einschätzung der Kernenergie

sichten und -anschauungen fördern auch selektive Wahrnehmung (siehe unten stehenden Kästen).

Gegenwärtige Einschätzungen der friedlichen Nutzung der Kernenergie (einschließlich radioaktiver Abfälle) könnten kaum schlechter sein. Kernenergie stellt sich in Untersuchungen zur Risikowahrnehmung dar als unbekannt, unkontrollierbar und gefürchtet mit einem wahrgenommenen Potenzial, ungeheure Anzahlen von Todesopfern zu verursachen, und dies sogar in zukünftigen Generationen.

Die Risiken von Radioaktivität und Strahlung werden nicht als Wahr-

scheinlichkeiten wahrgenommen. In einer frühen und grundlegenden Untersuchung hat Paul Slovic [38] mit einem Vergleich von 81 Risiken die besonders hohen Einschätzungen der mit Kernenergie, Radioaktivität und Strahlung verbundenen Risiken belegt. Er konnte zeigen, dass die Einschätzungen der Risiken in einem zweidimensionalen Faktorenraum abbildbar sind. Als die 2 ausschlaggebenden Faktoren erkannte er den „Grad der Bedrohung“ und den „Grad der Unbekanntheit“ (Abb. 19).

Risiken werden umso größer wahrgenommen, je höher der „Grad der Unbekanntheit“ ist, der beinhaltet, dass die Exposition nicht beobachtbar und den Exponierten unbekannt ist und dass es ein neues Risiko ist, das wissenschaftlich noch nicht geklärt ist, und dass die Effekte verzögert auftreten. Geringer werden beobachtbare und den Exponierten und der Wissenschaft altbekannte Risiken mit unmittelbaren Effekten eingeschätzt.

Der „Grad der Bedrohung“ ist höher und damit die Wahrnehmung des Risikos, wenn die Bedrohung nicht kontrollierbar, die Folgen fatal sein können, das Risiko als unfair empfunden oder als katastrophal hoch für zukünftige Generationen angesehen wird, nicht leicht reduzierbar oder sogar zu-

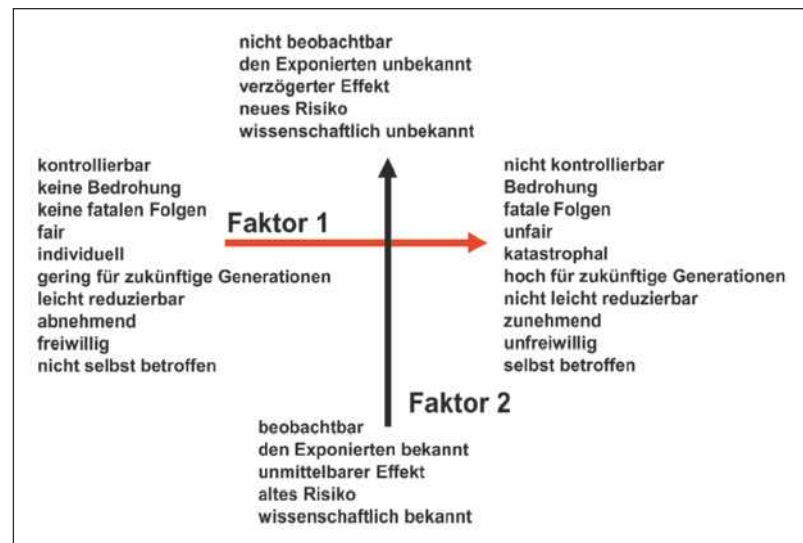


Abb. 19: Faktoren bei der Wahrnehmung von Risiken; nach: Slovic [38]

### Die besonderen Charakteristiken der Wahrnehmung von Strahlenrisiken

- Man kann Strahlung nicht sehen, nicht riechen, nicht fühlen, nicht schmecken.
- Die mit Strahlung zusammenhängenden Phänomene sind den meisten Menschen unbekannt.
- Die Bedrohung wird als unbegrenzt und ohne Ende eingeschätzt.
- Es gibt die Möglichkeit langfristiger Kontaminationen.
- Strahlung hat das Potenzial, verborgene Schäden zu verursachen.
- Die gesundheitlichen Effekte haben lange Latenzzeiten.
- Strahlung wird als besondere Gefahr für schwangere Frauen und Kinder angesehen.
- Strahlung ist mit Erkrankungen und Todesarten verbunden, die in den meisten Kulturen Furcht erzeugen wie insbesondere Krebserkrankungen.

nehmend ist und man unfreiwillig selbst betroffen ist. Der „Grad der Bedrohung“ ist geringer bei als kontrollierbar eingeschätzten Risiken ohne Bedrohungspotenzial, die keine fatalen

Folgen und nur geringe Auswirkungen auf zukünftige Generationen haben, die leicht reduzierbar und abnehmend erscheinen, einen nicht

selbst betreffen oder individuell freiwillig eingegangen werden und als fair empfunden werden.

#### Realität der Risikowahrnehmung

Die Realität der Risikowahrnehmung ist unter anderem eine Frage der Bilder in unseren Gehirnen. Seit ihrer Entdeckung sind Radioaktivität und Strahlung in einzigartiger Weise mit Assoziationen, Bildern und Symbolik verbunden. Spencer R. Weart [57] hat die Macht nuklearer Symbolik und ihre tiefe Verankerung in unserem sozialen und kulturellen Bewusstsein während der vergangenen mehr als 100 Jahre aufgezeigt.

Die tief verwurzelten Ängste der Menschen sind aber auch verbunden mit zahlreichen Realitäten, einschließlich der Realität der einzigartigen und machtvollen Eigenschaften von Strahlung. Die Realität der Kernenergie ist untrennbar verbunden mit Kernwaffen, Proliferation, Krieg und globalem Fallout, mit vielen schlimmen Beispielen von Missmanagement (z. B. Freisetzungen von Radioaktivität in die Umwelt aus militärischen Kernanlagen) sowie kleinen und großen Störfällen und Unfällen.

Hinzu kommt die Realität einer umfangreichen Berichterstattung in den Medien, die kleine und große Probleme und Kontroversen (auch wissenschaftliche) in Bezug auf nukleare Technologien, Radioaktivität und Strahlung intensiv begleitet und zur sozialen Verstärkung beiträgt.

All diese Realitäten können kognitive Dissonanz bewirken. Mit kognitiver Dissonanz bezeichnet man in der

Sozialpsychologie einen negativen Gefühlszustand, der durch unvereinbare Wahrnehmungen, Gedanken, Meinungen, Einstellungen, Wünsche oder Absichten erzeugt wird. Diese ambivalenten Gefühle und Bestrebungen werden umso stärker empfunden, je mehr Erkenntnisse gewonnen werden, die nicht für die gewählte Alternative sprechen, oder je mehr eigenes Verhalten den eigenen Einstellungen zuwiderläuft.

#### Soziale Risikoverstärkung

Soziale Risikoverstärkung wird ausgelöst durch widrige Ereignisse, bei denen es sich um einen großen oder kleinen Unfall, die Entdeckung einer Umweltverschmutzung oder um einen bösartigen Akt handeln kann. Risikoverstärkung bezeichnet die Tatsache, dass die Auswirkungen eines solchen Ereignisses bisweilen weit den direkten Schaden an Opfern oder Werten übersteigen und massive indirekte Konsequenzen haben können. Risikowahrnehmung spielt eine Schlüsselrolle bei der sozialen Risikoverstärkung. Wahrscheinlich tragen aber vielfältige Mechanismen zur sozialen Risikoverstärkung bei (siehe Slovic et al. [39]). Dazu gehören auch:

- Ein bestimmtes Risiko oder Ereignis kann zum Gegenstand der Agenda von gesellschaftlichen oder politischen Gruppen innerhalb einer Gemeinschaft oder Nation werden.
- Ein weiterer Mechanismus der Verstärkung ist die Interpretation von Unglücksfällen als Signale und Hinweise bezüglich der Größe eines Risikos und der Angemessenheit des Risikomanagements. Das Signalpotenzial von Unglücksfällen und ihrer potenziellen gesellschaftlichen Auswirkungen beeinflusst systematisch die wahrgenommene Charakteristik eines Risikos. Umfangreiche Berichterstattung der Medien über ein Ereignis kann eine höhere Wahrneh-

mung eines Risikos und eine Verstärkung der Auswirkungen bewirken.

In dem Beitrag zur LPS-Sommerschule im Jahr 2015 [29] habe ich die Einflussfaktoren Weltsicht, Assoziationen, Bilder und Symbolik, die Realitäten, die kognitive Dissonanz und die soziale Verstärkung, die in der Geschichte der Wahrnehmung von Radioaktivität und Strahlung von anfänglicher Euphorie

zur heutigen Radiophobie geführt haben, auf dem Hintergrund der geschichtlichen Entwicklung exemplarisch abgebildet. Exemplarisch

deshalb, weil es unmöglich ist, die wissenschaftlichen Aspekte aus Naturwissenschaft, Technik, Medizin, Psychologie, Philosophie, Religion, Soziologie, Ökonomie, Recht und Politik umfassend darzustellen.

#### Naturwissenschaft & Technik und die Zukunft des Menschen

Ein generelles Phänomen der Wahrnehmung von Naturwissenschaft und Technik und der Beurteilung der Zukunft des Menschen ist der Einfluss der Weltsicht des Einzelnen. Spencer R. Weart [57] hat 2 grundsätzlich verschiedene Weltsichten dazu einander gegenübergestellt (Abb. 20), die man als Kulturoptimismus und Kulturpessimismus bezeichnen kann. Es handelt sich um unvereinbare Standpunkte, die unsere Gesellschaft spalten.

Man könnte eine Vielzahl von Zitaten anführen, aber ich denke, dass jeder

Leser aus eigener Anschauung einschlägige Erfahrungen mitbringt. Diese Diskrepanz, die bereits seit Beginn der Industrialisierung – und nachweislich auch schon viel früher – gesellschaftliche Diskus-

sionen bestimmt hat, wirkt bis heute fort. Die Frage der richtigen oder in der Gesellschaft allgemein akzeptierten Sicht bleibt unbeantwortet – nicht nur im Hinblick auf die Nutzung von Radioaktivität, Strahlung und Kern-

## Realität der Kernenergie

## Weltsicht des Einzelnen

## Signalpotenzial von Unglücksfällen

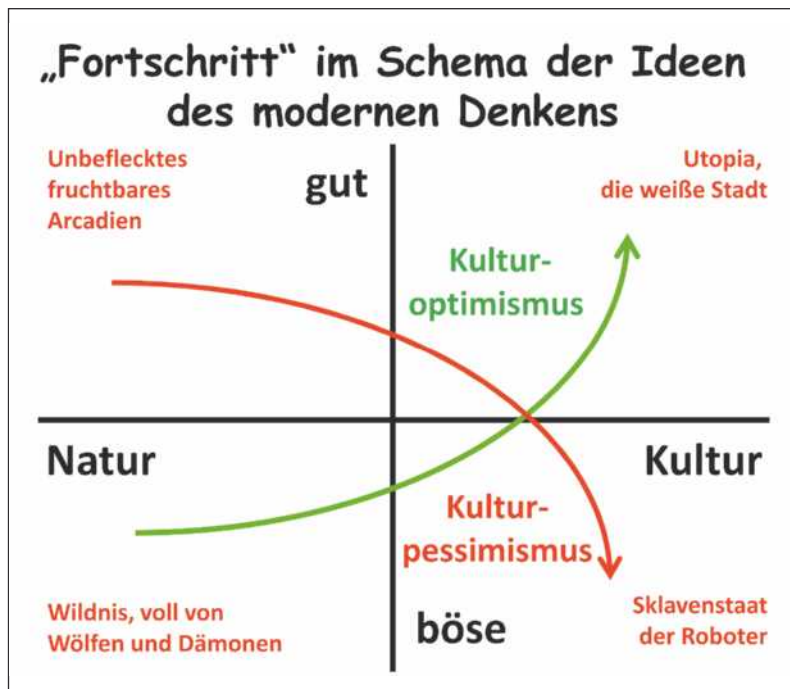


Abb. 20: „Fortschritt“ im Schema der Ideen des modernen Denkens; Grafik: [57] modifiziert

spaltung. Sie ist aber auch für Letztere von Relevanz, weil die dadurch bedingten Weltansichten direkte Auswirkungen auf die selektive Wahrnehmung von Radioaktivität und Strahlung durch den Menschen haben.

Diese Problematik teilen die technischen, medizinischen und wissenschaftlichen Anwendungen von Radioaktivität und Strahlung und der Strahlenschutz mit vielen anderen Bereichen wissenschaftlicher und technischer Disziplinen.

Unabhängig davon bleibt die Frage: Hat unsere Gesellschaft ein Problem mit dem Risiko und speziell mit dem Risiko von Radioaktivität und Strahlung? Meine Antwort ist Ja, und das speziell vor dem Hintergrund des Phänomens der deutschen Angst.

#### Hat unsere Gesellschaft ein Problem mit dem Risiko?

Fukushima bewirkte in der deutschen Gesellschaft eine Angstneurose. Angstreaktionen sind natürliche Vorsichtsreaktionen des Menschen. Manche sagen: Angst ist ein guter Ratgeber.

Aber wie kann man mit Angst umgehen? Man kann sie verarbeiten. Man

kann die Ursachen beseitigen. Die Angst kann jedoch bleiben. Wenn Ängste überhandnehmen oder wenn die Ursachen (die Realitäten) für die Ängste nicht beseitigt werden können, werden sie verdrängt. Eine Neurose wird durch einen inneren, unbewussten Konflikt verursacht. Kognitive Dissonanzen können solche Konflikte darstellen. Die Tendenz zur Verdrängung von Bedürfnissen nimmt bei einem Übermaß an kognitiven Dissonanzen überhand. Eine Neurose ist eine psychische Verhaltensstörung längerer Dauer. Die auslösenden traumatisierenden Faktoren sind Stressoren. Nach verhaltenstheoretischen Konzepten wird eine Neurose durch erlernte Fehlanpassung hervorgerufen. Dies ist das Ergebnis der Geschichte von Radioaktivität und Strahlung in Deutschland. Dann ist Angst kein guter Ratgeber.

Fukushima hat gezeigt, dass Angstneurosen in unserer Gesellschaft zum Kulturgut geworden sind. Man liest dazu [59]: „Als subjektiv erleichternd

wirkt sich die weite Verbreitung eines bestimmten Typs von Neurose in der jeweils betroffenen Kultur aus, der dadurch zur sozialen Norm wird.“ Schon Sigmund Freud war äußerst skeptisch, dass solche „Normalität“ vielfach mit „Gesundheit“ gleichgesetzt wurde. Der Bevölkerung Angst zu nehmen, scheinen manche für kein gutes politisches Geschäft zu halten, kann man sie doch instrumentalisieren.

#### Was aber ist, wenn die Mehrheit der Bevölkerung nicht oder falsch informiert wird und daher inkompetent ist?

Nach Justin Kruger und David Dunning [22] tragen Inkompetente eine doppelte Last. Sie kommen zu falschen Schlussfolgerungen und machen bedauerliche Fehler. Sie neigen dazu, ihre Kompetenz zu überschätzen.

Man kann dies heilen, indem man Kompetenz vermittelt. Aber dann

sind die Inkompetenten nicht mehr inkompetent. Insofern besteht Hoffnung, falls systematische Anstrengungen unternommen werden, die Bevölkerung über Risiken im Allgemeinen und über die von Radioaktivität und Strahlung im Besonderen aufzuklären. Dazu können wissenschaftliche Gesellschaften beitragen, aber nur wenn in der Politik eine breite Übereinstimmung über dieses Ziel besteht, wird ein Erfolg möglich sein.

Die Wahrnehmung von Strahlenschutz und Risiko stellt eine extrem verfahrenere Situation dar, für die es gute Gründe gibt.

Ich kann keinen Weg aus dieser Situation aufzeigen. Ich kann nur ein paar Wünsche formulieren. Ich konnte auch nichts zur Risikokommunikation sagen. Das hätte den Rahmen dieser Arbeit gesprengt und muss späteren Arbeiten vorbehalten bleiben. Die Situation ist jedoch so unerträglich,

### Bevölkerung über Risiken aufklären

### So ist die Situation unerträglich

dass etwas geschehen muss. Über das Wie muss gesprochen werden.

Dabei erscheint mir eines sicher zu sein: Wir wollen einen wissenschaftlichen und rationalen Weg, der die Menschen mitnimmt und die Risikowahrnehmung der „normalen“ Menschen ernst nimmt, mit dem Ziel einer aufgeklärten, vorsichtigen, aber angstfreien und risikobewussten Gesellschaft. In jedem Fall sollte ein wichtiger Teil unserer Bemühungen sein, die Politik dazu anzuhalten, die existierenden Risiken und die Ängste der Menschen nicht für politische Zwecke zu missbrauchen. Es ist so schon schlimm genug.

Dieser Realität der Wahrnehmungen in der Gesellschaft steht die der Strahlenschutzfachleute und vieler Wissenschaftler und Techniker entgegen. Die Strahlenschutzfachleute, die vielfach

## In vielen Feldern droht Kompetenzverlust

und zu Recht stolz auf ihren Job sind (siehe Serie in der StrahlenschutzPRAXIS), fühlen sich von einer Gesellschaft verkannt, deren Ängste sie nicht wirklich nachvollziehen oder verstehen können. Sie

finden zwar vieles im Strahlenschutz überreguliert, aber sie sehen, dass das System funktioniert und einen sachgerechten Schutz gewährleistet.

### Politik mit der Angst

Politiker und Interessengruppen nutzen vielfach die Wahrnehmung der Öffentlichkeit von Radioaktivität und Strahlung zur Verfolgung von eigenen Interessen (Hidden Agenda) und betreiben Politik mit der Angst der Menschen. Seit der militärischen und friedlichen Nutzung der Kernenergie wurde die mit Radioaktivität und Strahlung verbundene Symbolik von allen Spielern genutzt [57].

Für die Medien gilt ganz allgemein: Schlechte Nachrichten sind gute Nachrichten! Seit etwa 1973 sind die Medien überwiegend gegen Kernenergie eingestellt, ein Effekt, der deutlich zur

sozialen Verstärkung von Realitäten und Vorstellungen beiträgt.

Die Gesellschaft als Ganzes ist in ihren Ansichten zu Radioaktivität und Strahlung tief gespalten. Dies beginnt mit der Einschätzung der mit Radioaktivität und Strahlung verbundenen Risiken, der Einstellung zur friedlichen Nutzung der Kernenergie und der Problematik der Endlagerung radioaktiver Abfälle. Selbst die medizinischen Anwendungen ionisierender Strahlung werden von den einen mit unheilbarem Misstrauen betrachtet, von den anderen als Segen für die Menschheit angesehen.

Wenn man Kompetenz als eine Voraussetzung für sachgerechte Urteile annimmt, stellt sich die Frage nach der Kompetenz unserer Gesellschaft im Bereich Radioaktivität und Strahlung. Bei den Anwendern und Fachleuten erscheint sie heute meist hinreichend, um einen sachgerechten Strahlenschutz sicherzustellen. Aber Unfähigkeit zur Kommunikation der Inhalte, insbesondere der Risiken, ist vielfach zu verzeichnen. Und es droht in vielen Feldern Kompetenzverlust. Sowohl der FS als auch die SSK haben das mehrfach beklagt.

In der Bevölkerung findet man selten Kompetenz. Dazu hat die Ausbildung in den letzten Jahrzehnten beigetragen. An den Schulen wird häufig nichts oder Inkompetentes zu Radioaktivität und Strahlung gelehrt. Es werden sogar teilweise die experimentellen Möglichkeiten unter dem Vorwand, die Sicherheit der Kinder zu erhöhen, abgeschafft. Ausbildung in den Bereichen Radioaktivität, Strahlung und ihre biologische Wirkungen ist für viele Schüler heute nicht mehr als das kursorische Lesen von Gudrun Pausewangs „Die Wolke“ im Deutsch- oder Sozialkundeunterricht. Was noch schlimmer ist: Es werden kaum Anstrengungen unternommen, die Situation zu verbessern. Bei Regulatoren, Behörden und Politikern findet man selten ein offenes Ohr zu diesem Thema. Erfreuliche Ausnahmen gibt es allerdings auch.

## Eine Fülle unbeantworteter Fragen

### Fragen sind in

Im September 2015 hat die IRPA ihre Mitgliedsgesellschaften aufgefordert, sich an einer Diskussion um die zukünftige Entwicklung des Strahlenschutzes zu beteiligen (Renate Czarwinski und Roger Coates, 2015) und dabei folgende Fragen gestellt:

- How should we present the uncertainty in risk estimates at low doses?
- Should we give a more prominent context to natural background exposure?
- Whilst accepting the principle of dose limitation, should we have more flexibility in how this is emphasized and presented? If so, how?
- Should we make ALARA even more central in our control hierarchy? If so, how do we ensure proportionality of effort?

Die Aufforderung zur Diskussion (Abb. 21) in der IRPA wies auf ein eingeladenes Editorial von Roger Coates [6] hin: „Radiation protection: where are we after Fukushima?“. In diesem Artikel stellte er ebenfalls Themen zur zukünftigen Ausrichtung des Strahlenschutzes dar:

- Review how we present the LNT hypothesis.
- Provide a relevant and meaningful context for the presentation of radiation risk.
- Use this broader societal context to enhance public understanding of radiation risk.
- Implications for practitioners.
- The way forward: It is important for practitioners to engage actively in the future development of our system of protection.

Auch ich selbst habe eine Reihe von Fragen zu den aktuellen Problemen des Strahlenschutzes und der Strahlenschutz gestellt [29]:

- Ist der Strahlenschutz zu komplex?
- Können wir seine Inhalte nicht vermitteln?
- Haben wir selbst Schuld, wenn aus minimalen Dosen über die Kollektivdosis Hunderttausende Tote ausgerechnet werden?
- Stellen wir mit der Optimierung und dem Vorsorgeprinzip den bestehenden Strahlenschutz selbst infrage?
- Gelingt es uns nicht, das Risiko zu kommunizieren?
- Bemühen wir uns nicht um die Menschen?
- Beantworten wir nicht die Fragen der Menschen?
- Tun wir genug in der Ausbildung?
- Üben wir Druck auf Politiker aus, Ängste nicht zu instrumentalisieren, sondern sich für die Emanzipation einer rationalen, angstfreien und risikokompetenten Gesellschaft einzusetzen?

Roger Coates [6] wies darauf hin, dass das System des Strahlenschutzes nach dem Unfall von Fukushima Dai-ichi vor enormen Herausforderungen steht, die die Diskussion durch die und Beiträge von der gesamten Gemeinschaft der Strahlenschützer benötigt. Auch



Abb. 21: Es ist an der Zeit, über die Zukunft des Strahlenschutzes nachzudenken. Rodin's Denker; Foto: Svetlana Day – Fotolia.com

die ICRP hat entsprechende Themen identifiziert und die Empfehlungen einer Task Group dazu publiziert [14]:

- Radiation risk coefficients of potential health effects be properly explained to enhance proper interpretation.
- The limitations of epidemiological studies for attributing radiation effects following low exposures be clearly explained.
- Protection quantities and units should be more clearly explained to minimize confusions.
- The potential hazard from the intake of radionuclides into the body should be explained and placed in proper perspective with regard to external exposures.
- Rescuers and volunteers should be protected with an ad hoc system.
- Clearer recommendations on crisis management and medical care and on recovery and rehabilitation should be developed and made readily available.
- Recommendations on public protection levels (including infants, children and pregnant women and their expected offspring) and on related issues (such as, categorizing public exposures due to an accident, transitioning from an emergency to an existing situation and rehabilitating evacuated areas) should be consistent and understandable.
- Updated recommendations on public monitoring policy should be developed.
- Acceptable (or tolerable) 'contamination' levels need to be clearly stated and defined.
- Strategies for mitigating the serious psychological consequences arising from radiological accidents have to be sought.
- Ways to foster information sharing on radiological protection policy after an accident must be developed with recommendations to minimize the disruption caused by communication lapses.

### Das zentrale Thema: Kommunikation mit der Bevölkerung

Wenn man diese Fragen und Empfehlungen näher betrachtet, stellt man fest, dass sie überwiegend das Spannungsfeld zwischen Strahlenschutz und allgemeiner Bevölkerung sowie die Kommunikation mit der Bevölkerung betreffen. Auch der Scientific Secretary der ICRP Christopher H. Clement hat sich in diesem Zusammenhang geäußert [5]. Er betonte die Bedeutung dieses Themas und warf die Frage auf, die unterschwellig auch oben anklingt, ob die Schwierigkeiten, denen der Strahlenschutz heute gegenübersteht, hauptsächlich in der Kommunikation oder im System des Strahlenschutzes selbst liegen. Wahrscheinlich trifft beides zu.

Doch wenden wir uns der Zukunft des Strahlenschutzes zu. Ich tue dies, indem ich zuerst die Zukunft des Strahlenschutzes der Strahlenschützer betrachte, dann auf die Vermittlung von Wissen und Kommunikation eingehe, um dann zum Schluss wieder zum Thema Strahlenschutz und Gesellschaft zurückzukommen.

## Zukunft des Strahlenschutzes der Strahlenschützer

### Pflege der bisherigen Tugenden

Hier sollte an erster Stelle die Pflege der bisherigen Tugenden stehen. Das heißt, Strahlenschutz zu gestalten und zu fördern mit wissenschaftlicher Seriosität, ethischen Grundsätzen, Unabhängigkeit, mit der Offenheit für neue Erkenntnisse und der Bereitschaft zur Weiterentwicklung und ständigen Diskussionsbereitschaft.

## Strahlenschutz vor enormen Herausforderungen

Die Umsetzung von ICRP 103 und den neuen EU-Grundnormen im novelierten Strahlenschutzrecht wird den Strahlenschutz vor eine Fülle neuer Aufgaben stellen.

### Lösungen finden für die Probleme des Strahlenschutzes

Das große Problem des Strahlenschutzes wird bleiben: die Frage nach der Sinnhaftigkeit des LNT-Modells. Hier können wir nur darauf hoffen, dass die Forschung in einer Kombination von Epidemiologie und Strahlenbio-

logie zu neuen Erkenntnissen im Bereich niedriger Dosen führt, dass vielleicht doch Marker für strahleninduzierte Erkrankungen gefunden werden und dass wir ganz allgemein verste-

hen, wie Krebs und Leukämie entlang der strahlenbiologischen Wirkungskette funktionieren.

Aber auch einfachere, wenn auch nicht weniger wichtige Fragen müssen beantwortet werden. Hier seien die Fragen nach der Dosimetrie von Radon, der Sinnhaftigkeit der effektiven Dosis für die Radon-Exposition sowie nach den Grenzen der Optimierung genannt. Es wird spannend bleiben.

### Weiterentwickeln des Strahlenschutzes notwendig

Wir können sicher sein, dass eine ständige Weiterentwicklung des Strahlenschutzes erforderlich ist. Dabei sollten Vereinfachungen und Verständlichkeit bei höchstmöglicher Stabilität des Systems die Handlungsanweisungen sein. Weiterentwicklung kann aber nur funktionieren bei permanenter Aus- und Weiterbildung:

eine der ganz großen Aufgaben des FS. Woher sollen Wissen und Kompetenz kommen, wenn nicht aus der Gemeinschaft der Strahlenschützer. Zur Vermittlung von Wissen gehört sicherlich die breite Streuung allgemein verständ-

licher Information. Die Reihe StrahlenschutzKOMPAKT ist dazu ein ausgezeichnetes Mittel, das aber die Bereitschaft aller Mitglieder und Arbeitskreise des FS zur Mitarbeit verlangt.

Vor allem müssen Multiplikatoren mit den Inhalten des Strahlenschutzes erreicht werden. Dazu gehören die Lehrer und Ausbilder, aber auch diejenigen, die die Curricula erstellen. Nicht zu unterschätzen ist auch die Rolle der Mediziner, die radioaktive Stoffe und ionisierende Strahlung am Menschen anwenden. Wenn deren Erklärungen zum Risiko und zur rechtfertigenden Indikation sachgerecht sind, können sie einen großen Beitrag zum Verständnis der Bevölkerung leisten. Leider sehe ich hier vielfach noch Verbesserungspotenzial.

### Die Vermittlung von Wissen ist jedoch nicht genug

Wenn es um Risikokommunikation geht, geht es um die Köpfe und Herzen der Menschen. Pessimistisch könnte man einfach sagen: Risiko ist nicht kommunizierbar [28]. Aber da gibt es noch einen anderen Ansatz. Patricia A. Milligan und Vincent T. Covello [31] haben es in etwa so formuliert: „Alle Fragen, die Menschen im Zusammenhang mit Risiken stellen, sind schon einmal formuliert worden. Die meisten sind ganz einfach und haben nichts mit der wissenschaftlichen Deutung

von Risiko zu tun. Wenn ihr die Fragen nicht kennt und euch auf die Antworten nicht vorbereitet habt, seid ihr selber schuld.“ Covello et al. [7] haben dazu eine umfassende Anleitung zur Risikokommunikation für den Fall

eines radiologischen Notfalls verfasst, die durchaus auch für andere Fälle der Risikokommunikation genutzt werden kann.

Einen weiteren, wesentlichen Aspekt hat Tanja Perko auf der IRPA-Tagung 2014 in Genf angesprochen. Ihre dring-

liche Aufforderung war sinngemäß: „Nehmt die Menschen und ihre Ängste bei der Risikokommunikation ernst. Zeigt Mitgefühl und spielt nicht den Lehrer.“ Sie fordert sozusagen eine Kultur des Miteinanders.

## Strahlenschutz und Gesellschaft

### Kultur des Strahlenschutzes?

Damit bin ich zurück bei einer letzten Anmerkung zur Frage der Kultur des Strahlenschutzes [26]. Nach meiner Ansicht darf Strahlenschutzkultur nicht eine ausschließliche Kultur der Strahlenschutzfachleute sein. Dann bleibt sie eine Subkultur. Sie sollte aber Teil der allgemeinen Kultur werden. Auch dazu ist Kommunikation nötig. Wir werden es ja vielleicht nicht schaffen, aber wir sollten es mit langem Atem versuchen. Dazu benötigt man ein klares Konzept, das die Fragen beantwortet:

- Was wollen wir ändern?
- Was können wir ändern?
- Wie können wir etwas ändern?

Ohne einer Diskussion dieser Fragen vorgreifen zu wollen, würde ich das Ziel so formulieren: Wir wollen eine informierte, risikokompetente und angstfreie Gesellschaft (Abb. 22).

### Das Ziel: Eine informierte, risikokompetente und angstfreie Gesellschaft

#### Was müssen wir dafür tun?

#### Mein Appell

Zuallererst müssen wir Information und Ausbildung verstärken, das heißt zur Kompetenzvermittlung in allen Bereichen der Gesellschaft beitragen. Das ist unendlich schwer angesichts der Arbeitsbelastung, die die Mitglieder des FS üblicherweise haben.

Die Information muss objektiv sein und in einer der Zielgruppen angepassten Sprache erfolgen. Kommunika-

## Sinnhaftigkeit des LNT-Modells?

## Bereitschaft aller Mitglieder zur Mitarbeit!



Abb. 22: Das Ziel – mit oder ohne Kernenergie – ist eine informierte, risikokompetente und angstfreie Gesellschaft. Abbildung: aus „Adventures Inside The Atom“, Comic der General Electric Company, 1948 – gemeinfrei

tionstechniken sind wichtig, sie dürfen aber nicht als Werkzeuge zur Ruhigstellung der Bevölkerung missbraucht werden.

Beantworten wir die Fragen der Menschen und zeigen, dass wir die Menschen ernst nehmen!

Dazu gehört zum Beispiel, dass das LNT-Modell als nützliches Instrument des Strahlenschutzes dargestellt wird

und gleichzeitig Risikovergleiche gemacht werden. Was klein ist gegenüber normalen Risiken, oder der Schwankungsbreite normaler Risiken, ist vernachlässigbar! Die Medizin muss weg da-

von, Dosen und Risiken kleinzureden. Die rechtfertigende Indikation ist ideal für Risikovergleiche.

Wenn Information und Ausbildung die Aufgabe ist, muss der Weg über die Curricula gehen. Nur wer die Herzen der Jugend gewinnt, gewinnt die Erwachsenen. Dazu müssen wir Lobbyisten für den Strahlenschutz werden, denn es ist Druck auf Politiker nötig, um dieses durchzusetzen. Zusätzlicher Druck auf Politiker ist notwendig, um wegzukommen von der „Politik mit der Angst“. Dazu ist auch das Aufdecken von Widersprüchen in der Politik und der öffentlichen Meinung wichtig [13]. Das wird jedoch nicht ohne politischen Streit abgehen. Man

muss auch bereit sein, zu streiten. Wir müssen die Realitäten für alle 3 Expositionssituationen und alle Formen der Strahlenexposition, beruflich, medizinisch und allgemein, kommunizieren. Strahlenschutz und Kernener-

gie sind nicht notwendigerweise miteinander verbunden. Aber Strahlenschutz im Bereich der friedlichen (und hoffentlich nie der militärischen) Nutzung der Kernenergie wird auch nach einem Ausstieg Deutschlands aus der Kernenergienutzung eine wichtige Aufgabe bleiben.

Ein ganz wichtiges Thema der Kommunikation wird sein, ob es uns gelingt, den Sinn von Referenzwerten in bestehenden und Notfall-Expositionssituationen zu erklären. Die zeitliche Veränderbarkeit von Referenzwerten in diesen Situationen als die Kunst des Möglichen muss der Bevölkerung verständlich gemacht werden, bevor eine solche Situation entsteht oder bekannt wird. Vorbereitung ist heute deshalb notwendig, um für Maßnahmen in bestehenden oder Notfallsituationen Akzeptanz zu erzeugen.

## Lobbyisten für den Strahlenschutz

Anzeige



**RaTec**  
Messtechnik GmbH  
ISO 9001  
EINGETRAGENE FIRMA

--- Nachfolger ---  
**Hand-/Tischgerät  
RHK 1359**



- Anschluß von Szintillations-, Proportional-detektoren und GM-Zählrohren
- Farbdisplay mit Akku-Ladezustand
- Fixierung der Einstellwerte über Schnittstelle

Birkenweg 3-5  
25451 Quickborn

Tel. +49 (0)4106 / 79 76-0  
Fax +49 (0)4106 / 79 76-29

www.ratec.de  
info@ratec.de



Ganz besonders gilt dies für den Notfallschutz. Wer in guten Zeiten nicht informiert, dem glaubt man im Notfall nicht. Angesichts der extremen gesellschaftlichen Konsequenzen der Unfälle von Tschernobyl und Fukushima, ist die „mentale“ Vorbereitung auf radiologische Notfälle erforderlich – seien sie zivil oder militärisch. Auch das ist eine Aufgabe des Strahlenschutzes. Wir leben nicht in einer heilen Welt. ■

#### LITERATUR

- [1] AGS: Das Risikokzept für krebserzeugende Stoffe des Ausschusses für Gefahrstoffe. Dortmund 2012, ISBN 978-3-88261-718-4, [www.baua.de/de/Publikationen/Broschueren/A82.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.baua.de/de/Publikationen/Broschueren/A82.pdf?__blob=publicationFile)
- [2] Frasch, G., et al.: Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2013–2014. Bericht des Strahlenschutzregisters, Salzgitter 2015, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2015100213555>
- [3] Cardis, E.; Anspaugh, L.; Ivanov, V. K.; Likh-tarev, I. A.; Mabuchi, K.; Okeanov, A. E.; Prisyazh-niuk, A. E.: Estimated long term health effects of the Chernobyl accident. In: IAEA (Hrsg.): One Decade After Chernobyl. Summing up the Consequences of the Accident. Proceedings of an International Conference, 8.–12. April 1996, STI/PUB/1001, Wien 1996, S. 241–279.
- [4] Clarke, R. H.; Valentin, J.: The History of ICRP and the Evolution of its Policies. ICRP Publication 109, 2009, DOI: 10.1016/j.icrp.2009.07.009, [www.icrp.org/docs/The%20History%20of%20ICRP%20and%20the%20Evolution%20of%20its%20Policies.pdf](http://www.icrp.org/docs/The%20History%20of%20ICRP%20and%20the%20Evolution%20of%20its%20Policies.pdf)
- [5] Clement, C.: The silver lining: recommendations to improve the system of radiological protection. In: J. Radiol. Prot., 33, 2013, E13–E14.
- [6] Coates, R.: Invited editorial: Radiation protection: Where are we after Fukushima? In: J. Radiol. Prot., 34, 2014, E13–E16, DOI: 10.1088/0952-4746/34/4/E13
- [7] Covello, V. T., et al.: Developing an Emergency Risk Communication (ERC)/Joint Information Center (JIC) Plan for a Radiological Emergency. NUREG/CR-7032, 2011, [www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/contract/cr7032/](http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/contract/cr7032/)
- [8] Crick, M.: The scientific basis of radiation protection. Invited Plenary Talk at the Fourth European IRPA Congress, 2014.
- [9] Dymke, N.: Radiological basis for the determination of exemption levels. In: Kerntechnik, 67, 1, 2002, S. 13–17.
- [10] EC: Richtlinie 2013/59/Euratom des Rates vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom.
- [11] Feinendegen, L. E.: Low-dose effects on a whole organism are more than the sum of responses of its hit cells. Advanced WE-Heraeus Physics School “Ionizing Radiation and Protection of Man and the Environment”, 16.–27. Mai 2011, Physikzentrum Bad Honnef, Germany; siehe auch Feinendegen, L. E., et al.: Biological consequences and health risks of low-level exposure to ionizing radiation: commentary on the workshop. In: Health Physics 100/3, 2011, S. 247–259.
- [12] Festinger, L.: A Theory of Cognitive Dissonance. Stanford University Press, Stanford 1957.
- [13] Gellermann, R.: Die Asse – Werte, Wahrheiten, Widersprüche. Versuch über kein Endlager. epubli, Berlin 2013.
- [14] Gonzalez, A., et al.: Radiological protection issues arising during and after the Fukushima nuclear reactor accident. In: J. Radiol. Prot., 33, 2013, S. 497–571, DOI: 10.1088/0952-4746/33/3/497
- [15] IAEA: One decade after Chernobyl. Summing up the consequences of the accident. Proceedings of an International Conference, 8.–12. April 1996, STI/PUB/1001, Wien 1996, [www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1001\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1001_web.pdf)
- [16] IAEA: Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standard. General Safety Requirements Part 3, No. GSR Part 3, Wien 2014, [www-ns.iaea.org/standards/documents/general.asp](http://www-ns.iaea.org/standards/documents/general.asp)
- [17] ICRP: Die Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) von 2007. ICRP-Veröffentlichung 103, verabschiedet im März 2007, Veröffentlichungen der Internationalen Strahlenschutzkommission, deutsche Ausgabe herausgegeben vom Bundesamt für Strahlenschutz.
- [18] ICRP: Recommendations of the International Commission on Radiological protection. ICRP Publication 26, Ann. ICRP 1, 3, 1977.
- [19] ICRP: 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, Ann. ICRP 21, 1–3, 1991.
- [20] IRPA: IRPA guiding principles for establishing a radiation protection culture. 2014. [www.irpa.net/members/IRPA-Guiding%20Principles%20on%20RP%20Culture%20-2014%20.pdf](http://www.irpa.net/members/IRPA-Guiding%20Principles%20on%20RP%20Culture%20-2014%20.pdf)
- [21] Jenkins-Smith, H. C.: Nuclear imagery and regional stigma: Testing hypotheses of image acquisition and valuation regarding Nevada. University of New Mexico, Institute of Public Policy, Albuquerque 1993.
- [22] Kruger, J.; Dunning, D.: Unskilled and Unaware of It: How Difficulties in Recognizing One’s Own Incompetence Lead to Inflated Self-Assessments. In: Psychology, 1, 2009, S. 30–46, [www.scirp.org/journal/psych](http://www.scirp.org/journal/psych)
- [23] Lex Asse: Gesetz zur Beschleunigung der Rückholung radioaktiver Abfälle und der Stilllegung der Schachanlage Asse II. In: Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 19, Bonn, 24. April 2013, S. 921 f.
- [24] Lochard, J.: The ethical foundations of the radiological protection system. Invited Plenary Talk at the Fourth European IRPA Congress, Genf 2014.
- [25] Moushart, R.: Wie war das damals? – Die Zeit, als die deutschsprachigen Strahlenschutzgesellschaften entstanden. In: Strahlenschutz bei medizinischen Anwendungen. Tagungsband, gemeinsame Jahrestagung vom 12.–15. Oktober 2003 in Dortmund, ISBN 3-00-012084-X, S. 182–189.
- [26] Michel, R.: Was ist und warum bemühen wir uns um eine Kultur des Strahlenschutzes? In: StrahlenschutzPRAXIS 4/2009, S. 36–51.
- [27] Michel, R.: Geschichte der Radioaktivität – von der Euphorie zur Radiophobie. Vortragsfolien, 2012, [www.irs.uni-hannover.de/uploads/tx\\_tkpublikationen/gdrvde12.pdf](http://www.irs.uni-hannover.de/uploads/tx_tkpublikationen/gdrvde12.pdf)
- [28] Michel, R.: Risk: a non-communicable quantity. KSR Seminar „Radiologisches Risiko: Wahrnehmung und Kommunikation“, Bern, 12. April 2013, [www.irs.uni-hannover.de/uploads/tx\\_tkpublikationen/rancq\\_02.pdf](http://www.irs.uni-hannover.de/uploads/tx_tkpublikationen/rancq_02.pdf)
- [29] Michel, R.: Strahlenschutz und Risikowahrnehmung. Beitrag zur 19. LPS-Sommerschule, Berlin 2015, [www.irs.uni-hannover.de/uploads/tx\\_tkpublikationen/ENTRIA-Bericht-2015-01\\_Michel\\_Strahlenschutz\\_Risikowahrnehmung.pdf](http://www.irs.uni-hannover.de/uploads/tx_tkpublikationen/ENTRIA-Bericht-2015-01_Michel_Strahlenschutz_Risikowahrnehmung.pdf)
- [30] Michel, R.; Henrichs, K.; Wernli, C.: Radiation protection culture – a global challenge. In: Radiation Protection Dosimetry, 164, 2015, S. 2–8, DOI: 10.1093/rpd/ncu325



[31] Milligan, P. A.; Covello, V. T.: Radiological Risk Communication. Message Mapping for Effective Radiological Risk Communications for Nuclear Power Plant Incidents. IRPA 13, Glasgow 2012, <http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML1212/ML12124A215.pdf>

[32] Molineus, W.; Holthusen, H.; Meyer, H.: Ehrenbuch der Radiologen aller Nationen. Berlin 1992, ISBN 3-89412-132-7.

[33] Perko, T.: Interaction and communication with society: an underdeveloped aspect of radiation protection. Invited Plenary Talk at the Fourth European IRPA Congress, 2014.

[34] Preston, R. J., et al.: Effect of recent changes in atomic bomb survivor dosimetry on cancer mortality risk estimates. In: *Radiation Res.* 162, 2004, S. 377–389.

[35] Prêtre, S.: Atom, Symbolik und Gesellschaft: Geistige Ansteckung oder Risikobewusstsein? Forum Medizin und Energie (FME), Baden-Dättwil 1992.

[36] Renn, O.: Das Risikoparadox: Warum wir uns vor dem Falschen fürchten. Fischer Taschenbuch 19811, 3. Auflage, Frankfurt am Main 2014.

[37] Slovic, P., et al.: Images of Disaster: Perception and Acceptance of Risks from Nuclear Power. In: Goodman, G.; Rowe, W. (Hrsg.): *Energy Risk Management*. Academic Press, London 1979, S. 223–245.

[38] Slovic, P.: Perception of Risk. In: *Science* 236, 1987, S. 280–285.

[39] Slovic, P., et al.: Perceived Risk, Stigma, and Potential Economic of a High-Level Nuclear Impacts Waste Repository in Nevada. In: *Risk Analysis* 11, 4, 1991, S. 683–696.

[40] Slovic, P.: Trust, Emotion, Sex, Politics, and Science: Surveying the Risk-Assessment Battlefield. In: *Risk Analysis* 19, 4, 1999, S. 689–701.

[41] Slovic, P., et al.: Risk as Analysis and Risk as Feelings: Some Thoughts about Affect, Reason, Risk, and Rationality. In: *Risk Analysis* 24, 2, 2004, S. 311–322.

[42] Smith, K. R.: Perception of risk associated with nuclear power. In: *Energy Environment Monitor* 4, 1988, S.61–70, hier S. 62.

[43] SSK: Bewertung von Messungen der ARGE PhAM zur Radioaktivität in der Elbmarsch. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission, verabschiedet auf der 183. Sitzung der SSK am 14. Februar 2003, [www.ssk.de](http://www.ssk.de)

[44] SSK: Das Prinzip der Rechtfertigung im Strahlenschutz. Stellungnahme der Strahlenschutzkom-

mission für die ICRP. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission, verabschiedet auf der 201. Sitzung der SSK am 22./23. September 2005, [www.ssk.de](http://www.ssk.de)

[45] SSK: 20 Jahre nach Tschernobyl – Eine Bilanz aus Sicht des Strahlenschutzes. Berichte der SSK, Heft 50, Redaktion: Baldauf, D., Gumprecht, D., Heller, H., Bonn 2006, [www.ssk.de](http://www.ssk.de)

[46] SSK: Bewertung der epidemiologischen Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken (KiKK-Studie). Stellungnahme der Strahlenschutzkommission, verabschiedet auf der 227. Sitzung der SSK am 25./26. September 2008, veröffentlicht im BAnz Nr. 60a vom 22. April 2009, [www.ssk.de](http://www.ssk.de)

[47] SSK: Ermittlung der Strahlenexposition. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 263. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 12. September 2013, veröffentlicht im BAnz AT, 23. Mai 2014, B4, [www.ssk.de](http://www.ssk.de)

[48] SSK: Krebshäufigkeit in der Samtgemeinde Assen. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 260. Sitzung der SSK am 28.2./1.3.2013, veröffentlicht im BAnz AT, 3. März 2015, B3, [www.ssk.de](http://www.ssk.de)

[49] UNSCEAR: UNSCEAR 2000, Report to the General Assembly, with scientific annexes, Volume II: Effects, Annex J: Exposures and effects of the Chernobyl accident. United Nations, New York 2000, [www.unscear.org/docs/reports/annexj.pdf](http://www.unscear.org/docs/reports/annexj.pdf)

[50] UNSCEAR: Effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2008, Report to the General Assembly with Scientific Annexes, Volume 2: Effects. United Nations, New York 2008, [www.unscear.org/unscear/en/publications/2008\\_2.html](http://www.unscear.org/unscear/en/publications/2008_2.html)

[51] UNSCEAR: History of UNSCEAR. 2011, [www.unscear.org/unscear/about\\_us/history.html](http://www.unscear.org/unscear/about_us/history.html)

[52] UNSCEAR: UNSCEAR 2008, Report to the General Assembly, Volume II, Annex D: Health effects due to radiation from the Chernobyl accident. United Nations, New York 2011.

[53] UNSCEAR: UNSCEAR 2013, Report, Volume I: Report to the General Assembly, Scientific Annex A: Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami. United Nations, New York 2014, [www.unscear.org/docs/reports/2013/13-85418\\_Report\\_2013\\_Annex\\_A.pdf](http://www.unscear.org/docs/reports/2013/13-85418_Report_2013_Annex_A.pdf)

[54] UNSCEAR: UNSCEAR 2012, Report to the General Assembly with Scientific Annexes, Annex B: Uncertainties in risk estimates for radiation-induced

cancer. United Nations, New York 2015. [www.unscear.org/docs/reports/2012/UNSCEAR2012\\_Report\\_AnnexB\\_Uncertainty\\_AdvanceCopy.pdf](http://www.unscear.org/docs/reports/2012/UNSCEAR2012_Report_AnnexB_Uncertainty_AdvanceCopy.pdf)

[55] UNSCEAR: UNSCEAR 2012, Report to the General Assembly with Scientific Annexes, Annex A: Attributing health effects to ionizing radiation exposure and inferring risks. United Nations, New York 2015. [www.unscear.org/docs/reports/2012/UNSCEAR2012Report\\_AnnexA\\_Attribution\\_AdvanceCopy.pdf](http://www.unscear.org/docs/reports/2012/UNSCEAR2012Report_AnnexA_Attribution_AdvanceCopy.pdf)

[56] Vogel, H.: Das Ehrenmal der Radiologie in Hamburg. Ein Beitrag zur Geschichte der Röntgenstrahlen. In: *Fortschr. Röntgenstr.*, 178, 8, 2006, S. 753–756, DOI: 10.1055/s-2006-948089, <https://dx.doi.org/10.1055/s-2006-948089>

[57] Weart, S. R.: *Nuclear fears – A history of images*. Harvard University Press, 1998. Neudruck: Weart, S. R.: *The rise of nuclear fear*. Harvard University Press, 2012.

[58] Webb, G.: The history of IRPA – up to the millennium. In: *J. Radiol. Prot.* 31, 2011, S. 177–204, <http://stacks.iop.org/0952-4746/31/177>

[59] <http://de.wikipedia.org/wiki/Neurose>

**STICHWORTE**

Kommunikation, Strahlenschutzgeschichte, Strahlenschutzkultur, Risikowahrnehmung

**AUTOR**

**Rolf Michel**

Prof. Dr. Rolf Michel, geb. 1945; Prof. i. R. für Strahlenschutz und Radioökologie, ehem. Leiter des Zentrums

für Strahlenschutz und Radioökologie der Leibniz Universität Hannover, 2008–2009 Präsident des Deutsch-Schweizerischen Fachverbandes für Strahlenschutz e. V., langjähriges Mitglied der Strahlenschutzkommission (SSK); wissenschaftliche Arbeiten zur Produktion von Restkernen in Kernreaktionen, zu statistischen Verfahren bei Kernstrahlungsmessungen, zur Neutronenaktivierungsanalyse und zur Radioanalytik und Radioökologie langlebiger Radionuklide

**ANSCHRIFT DES AUTORS**

Wilhelm-Henze-Weg 14  
D-31303 Burgdorf  
Tel.: ++49/51 36/36 48  
E-Mail: [michel@irs.uni-hannover.de](mailto:michel@irs.uni-hannover.de)