

# SOHF-Seminar: Strahlenschutz 2015

Herbert Manser riskCare

*Am 23. September veranstaltete der Schweizerische Verband der Betriebsärzte im Gesundheitsdienst (SOHF) eine Fortbildung zum Thema Strahlenschutz mit neun Referaten. Etwa dreissig Personen nahmen teil. Ich nehme die Tagung als Anlass den Strahlenschutz für Sicherheitsfachleute zu thematisieren.*

## Was sind ionisierende Strahlen?

Die Tagung begann sinnvollerweise mit einer Einführung in die Physik der Strahlen und ihre biologischen Wirkungen. Dr. Hans W. Roser, tätig in der Radiologischen Physik des Universitätsspitals Basel führte in die Physik ein. Dr. Roland Scheidegger, stellvertretender Leiter der Sektion Radiologischer Arbeitsschutz beim ENSI, führte in die biologischen Wirkungen ein. Die elektromagnetischen Strahlen sind ein spannendes Thema. Am einen Ende das magnetische Feld das noch nicht schwingt und mit seiner Kraftwirkung eine medizinische Bedeutung hat und am anderen Ende ist es bereits ein doppelt ionisierter Atomkern, die alpha-Strahlung, die zu therapeutischen Zwecken eingesetzt werden kann. Einsteins Gesetz  $E = mc^2$  wird Realität. Genaugenommen sind allerdings die Alpha- und auch die Betastrahlung keine elektromagnetischen Felder mehr. Dazwischen befindet sich ein Kontinuum an Frequenzen, mit unterschiedlichen

Erscheinungsformen, die für eine nahezu unermessliche Anzahl Anwendungen gebraucht wird. An dieser Tagung ging es vor allem um die ionisierende Strahlung.

Bei den ionisierenden Strahlen werden drei Arten unterschieden: Alpha (wissenschaftliches Zeichen:  $\alpha$ ), Beta- ( $\beta$ ) und Gamma-Strahlen ( $\gamma$ ). Die  $\alpha$ -Strahlen sind die energiereichsten mit über hundert Megaelektronenvolt (MeV). Im Prinzip bestehen diese Strahlen aus Materie in Form von einem Kern eines Heliumatoms, also je zwei Neutronen und Protonen. Anders gesagt, ein doppelt ionisiertes Heliumatom wird von einem Alphastrahler, wie es etwa verschiedene Radonisotope sind, werden mit einigen Prozent der Lichtgeschwindigkeit, emittiert.  $\alpha$ -Strahler haben eine geringe Eindringtiefe von weniger als einem Millimeter in den Körper. So kann schon mit einem Blatt Papier, die Strahlung abgeschirmt werden.  $\beta$ -Strahler emittieren je

ein Elektron und ein Neutrino. Der Energiegehalt dieser Strahlen ist sehr unterschiedlich und kann von einigen Kilo-elektronenvolt (keV) bis zu einigen MeV betragen. Die Eindringtiefe der  $\beta$ -Strahler ist wenig höher als bei den  $\alpha$ -Strahlern, je nach dem kann mit einer Plexiglasscheibe oder mit einem Blech die Strahlung wirksam abgeschirmt werden. Die  $\gamma$ -Strahlen bestehen aus Photonen. Photonen haben als Materie betrachtet sehr wenig Masse, und darum auch wenig Energie. Von  $\gamma$ -Strahlen wird gesprochen, wenn die Strahlung aus einem radioaktiven Zerfall entsteht. Die Energie ist typischerweise zwischen hundert und dreihundert keV. Die  $\gamma$ -Strahlen haben eine sehr hohe Eindringtiefe und können darum nur schwer abgeschirmt werden. Es braucht Bleiplatten, oder dicke Betonwände. Im Übergang zu den nichtionisierenden Strahlen sind die UV-Strahlen. Die Energiereicheren können auch Atome ionisieren. (siehe Tabelle 1).

Wellenbezeichnung		Wellenlänge		Wellenfrequenz		Photonenenergie	Erzeugung Anregung	Anwendungen
		Von	Bis	Von	Bis			
UV-Strahlen	schwache UV-Strahlen	200 nm	380 nm	789 THz	1500 THz 1,5 PHz	$> 5,2 \times 10^{-19} \text{ J}$ $> 3,3 \text{ eV}$	Gasentladung, Synchrotron, Excimerlaser	Schwarzlicht Fluoreszenz, Phosphoreszenz, Banknotenprüfung, Fotolithografie, Desinfektion, UV-Licht, Spektroskopie
	Starke UV-Strahlen	50 nm	200 nm	1,5 PHz	6 PHz	$> 9,9 \times 10^{-19} \text{ J}$ $> 6,2 \text{ eV}$	Gasentladung Synchrotron Excimerlaser	
	XUV	1 nm	50 nm	6 PHz	300 PHz	$> 5,0 \times 10^{-18} \text{ J}$ 20 - 1000 eV	XUV-Röhre Synchrotron Nanoplasma	EUV-Lithografie, Röntgenmikroskopie, Nanoskopie
Röntgenstrahlen		10 pm	1 nm	300 PHz	30 EHz	$> 2,0 \times 10^{-16} \text{ J}$ $> 1 \text{ keV}$	Röntgenröhre, Synchrotron, Anregung von inneren Elektronen, Auger-Elektronen	medizinische Diagnostik, Sicherheitstechnik, Röntgen-Strukturanalyse, Röntgenbeugung, Photoelektronenmikroskopie, Röntgenabsorptionsspektroskopie
Gammastrahlen Betastrahlen Alphastrahlen			10 pm	30 EHz		$> 2,0 \times 10^{-14} \text{ J}$ $> 120 \text{ keV}$	Radioaktivität, Annihilation, Anregung von Kernzuständen	medizinische Strahlentherapie, Mössbauerspektroskopie

Tabelle 1: Strahlenarten

Der ionisierenden Strahlung sind wir aus den verschiedensten Quellen immer ausgesetzt. Aus natürlichen Quellen sind wir primär durch Radon belastet, es folgen die kosmische Strahlung, die terrestrische Strahlung und die Radionuklide im Körper die vor allem durch die Lebensmittel und die Atemluft aufgenommen wurden. In der Schweiz liegen die Werte im Durchschnitt etwa bei 4,3 Millisievert (mSv)/Jahr. Neben der natürlichen Strahlung gibt es noch eine Exposition aus der Medizin (ca. 1,2 mSv/Jahr) und aus dem industriellen und militärischen Umgang mit radioaktiven Stoffen ( $\leq 0,1$  mSv/Jahr). Je nach Lebensmittelpunkt, kann es erhebliche Unterschiede geben. Zum Beispiel sind in Orsières im Wallis, die natürlichen Expositionen bedeutend höher, weil das Gestein des Mont Blanc - Massivs besonders viele Nuklide aufweist und dadurch auch die Radonemissionen höher sind. Dort gewonnene Lebensmittel sind entsprechend auch höher belastet und da, in der Höhe gele-

gen, ist auch die kosmische Strahlung höher als im Mittelland. So kann die individuelle Belastung insbesondere durch Radon und seine Folgeprodukte, durch Röntgendiagnostik und durch Strahlentherapie deutlich höher sein. Hingegen ist die Belastung, an den mit Dosimetern kontrollierten, Arbeitsplätzen als eher gering einzustufen. Von rund 90 000 Personen haben gemäss Dosimetriebericht 2014 des Bundesamts für Gesundheit gerade einmal etwa 100 Personen eine Strahlenbelastung, die höher ist als die durchschnittliche natürliche Belastung.

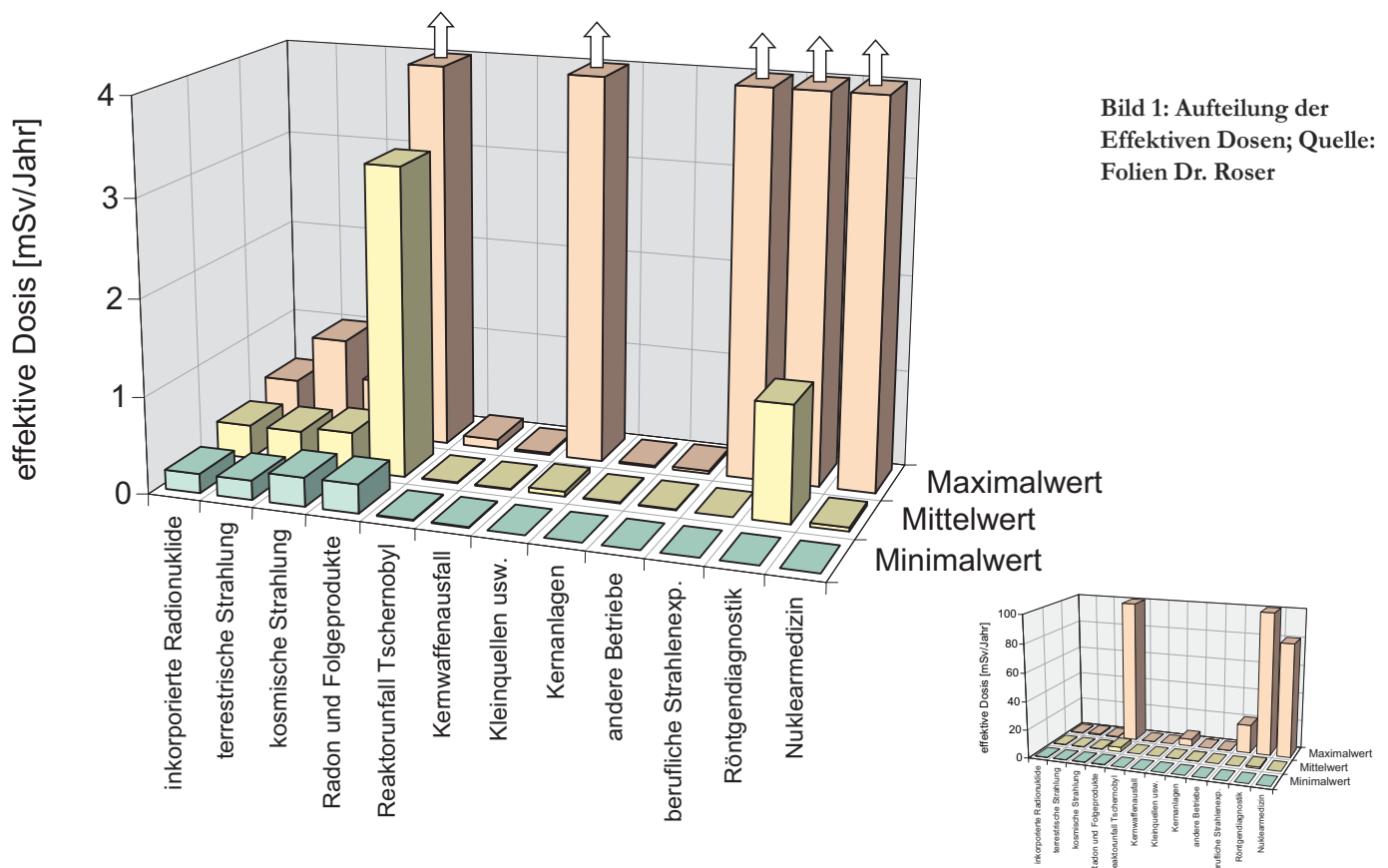
### Die Wirkung der ionisierenden Strahlen

Die ionisierende Strahlung hat diesen Namen, weil sie durch ihre Energie ( $>5$  eV), die Fähigkeit hat Atome zu ionisieren. Dadurch wird bei diesen Atomen ein chemischer Prozess ausgelöst, sie haben die Valenz eine neue Bindung einzugehen. Das kann zur Folge haben, dass die DNA in Zellen gestört wird deren Folge

ist, dass falsche Verbindungen hergestellt werden. Es gibt biologische Steuerungsmechanismen, die diese Defekte zu reparieren versuchen. Manchmal gelingt die Reparatur, dann ist die Zelle wieder gesund. Manchmal wird falsch repariert, dann ist es eine mutante Zelle. Die Reparaturmechanismen sind sehr effektiv, etwa 96 bis 99% der Strahlenschäden werden richtig repariert. Bei manchen Schäden ist eine Reparatur nicht möglich, dann stirbt die betroffene Zelle auf verschiedenen mögliche Arten. Diese Prozesse werden in der Strahlentherapie bei krebserkrankten Menschen benutzt. Bei Krebszellen ist der Reparaturmechanismus weniger effektiv und sie sterben dadurch eher ab. Darum wird durch verschiedene Methoden versucht, die Strahlen möglichst genau in die Tumore zu senden.

Wie bei Gefahrstoffen könnte man die Strahlenschäden in akute und chronische Schäden unterscheiden. Hier wird aber zwischen deterministischen und stocha-

## Aufteilung der Effektiven Dosen in der Schweiz



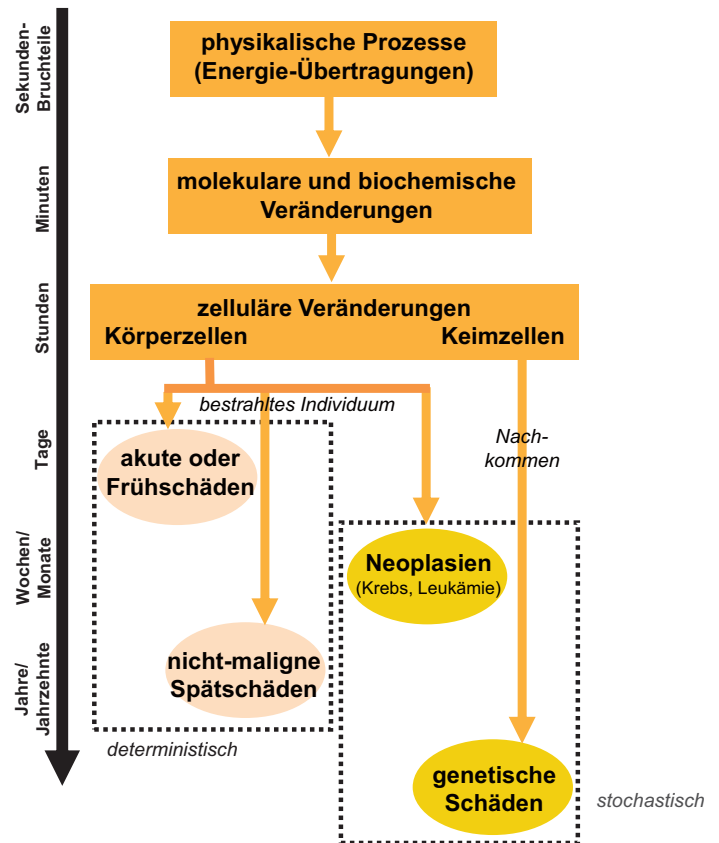


Bild 2: Biologische Wirkungen; Quelle: Folien Dr. Scheidegger

stischen Schäden unterschieden. Die deterministischen Schäden kann man bestimmt auf die künstliche Strahlung zurückführen, während die stochastischen Schäden nur mehr oder weniger wahrscheinlich darauf zurückgeführt werden. Ab etwa 1 Sv Bestrahlung führt die Belastung zu akuten Schäden, wie (in steigender Reihenfolge) «Sonnenbrand», Abnahme der Zahl der weissen Blutkörperchen, Infektionen, Blutungen Durchfall, Fieber, Krämpfe Lethargie und Konvulsionen. Daneben gibt es nicht -maligne (nicht krebsartige) Spätschäden wie Unfruchtbarkeit oder eine Trübung der Augenlinse. Zu den stochastischen Schäden gehören genetische Schäden, Krebserkrankungen und Leukämien. Bei geringen Belastungen durch künstliche, ionisierende Strahlung ist es fast unmöglich zu entscheiden, ist dieser Krebs nun durch die künstliche Strahlung entstanden, oder hat er eine andere Ursache. Es gibt also wie bei gewissen krebserregenden Stoffen, keine Schwellendosis. Dazu kommt, dass es Menschen gibt, die bereits ein weniger effizientes oder ein bereits angeschlagenes Reparatursystem haben und darum besonders empfindlich sind. Zu den sto-

chastischen Schäden gehören auch diese, die an die nächste Generation vererbt werden. Einerseits genetische Schäden die mit dem Erbgut weiter gegeben werden und andererseits Schäden die während der Schwangerschaft zu Beeinträchtigungen (wie geistige Behinderungen) und Missbildungen führen (das sind die teratogenen Krebse). Hier gilt: Je frischer die Schwangerschaft, desto empfindlich ist der Fötus.

### Schutz vor ionisierender Strahlung am Arbeitsplatz

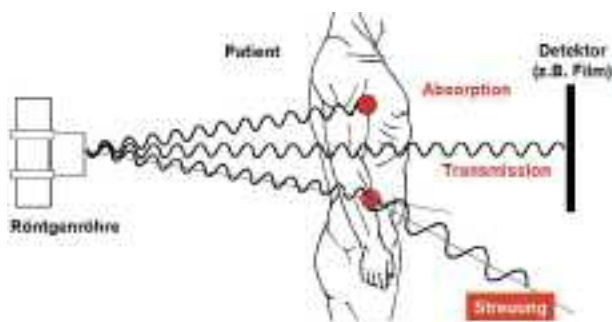
Eine Übersicht zum Strahlenschutz am Arbeitsplatz gab Dr. Michael Trippel, Arbeitsmediziner am Unispital Basel und mit einer arbeitsmedizinischen Praxis in Einsiedeln. Der Schutz vor ionisierender Strahlung ist in einer besonderen Gesetzgebung organisiert. Es ist das Strahlenschutzgesetz und die Strahlenschutzverordnung. Die Verordnung wird überarbeitet und befindet sich derzeit in der Vernehmlassung. Weiter oben habe ich schon erwähnt, dass Arbeitnehmende vor künstlicher Strahlung heute gut geschützt sind. Trotzdem gibt es noch einige Teilbereiche, in denen man sich verbessern will. Durch die Erfahrungen aus

den Folgen der Atombombenabwürfe in Hiroshima und Nagasaki weiss man, dass verschiedene Organe des Menschen verschieden empfindlich auf die ionisierende Strahlung reagieren (siehe die Tabelle 2). In den letzten Jahren hat man entdeckt, dass Augen doch empfindlicher sind, als bisher angenommen und

Gewebe oder Organe	Gewebe-Wichtungsfaktoren wT
Gonaden	0,20
Dickdarm	0,12
Knochenmark (rot)	0,12
Lunge	0,12
Magen	0,12
Blase	0,05
Brust	0,05
Leber	0,05
Schilddrüse	0,05
Speiseröhre	0,05
Haut	0,01
Knochenoberfläche	0,01
andere Organe oder Gewebe	0,05

Tabelle 2: Gewebeeempfindlichkeiten

Haut, obschon recht resistent, einfach am meisten Strahlung auffängt und dadurch eine Begrenzung der Organbelastung angezeigt ist. Die Augen reagieren mit einem Katarakt, die Haut mit den weissen Hautkrebsen (Basaliome und Spinaliome) und mit Vorstufen (Aktinische Keratose und Morbus Bowen). Der weisse Hautkrebs hat in den letzten Jahren deutlich zugenommen. Hier sind vor allem Arbeitende die dem Sonnenlicht ausgesetzt sind betroffen. Aber es gibt auch Verbesserungspotenzial insbesondere in der Röntgendiagnostik, weil die Röntgenstrahlen in den durchleuchteten Körpern stark streuen. Das wird im neuen Entwurf der Strahlenschutzverordnung berücksichtigt, mit einer deutlichen Senkung des Teilgrenzwertes von 50 mSv auf 15 mSv für Haut und Auge. Nun ist es schwierig, die Dosis am Auge zu messen. Einer der Wege, der versucht wird zu beschreiten, man misst mit zwei Dosimetern, von denen einer nahe am



**Bild 3: Streuung der Strahlen; Quelle: Kantonsspital Basel**

Kopf platziert ist. Dr. Trippel stellte bei dieser Gelegenheit den arbeitsmedizinischen Stufenplan vor. Es handelt sich dabei um ein an die Methode STOP (Systemische, technische, organisatorische und persönliche Massnahmen) angelehntes Verfahren, das zusätzliche arbeitsmedizinische Elemente enthält (Tabelle 3).

Weitere Vorträge beschäftigten sich mit den Anwendungen der ionisierenden Strahlungen in der Medizin, mit den Vorseorgeuntersuchungen und mit den Not- hilfemassnahmen bei Unfällen in der Ra-

diologie. Ausführungen zu diesem Thema sind in diesem Artikel nicht vorgesehen. Nur so viel sei gesagt: Im Dosimetrie- Jahresbericht 2014 ist nur ein Vorfall mit Grenzwertüberschreitung im Sonderbetrieb erwähnt. In den letzten 20 Jahren gab es gerade einmal 22 Grenzwertüberschreitungen. Insgesamt war es eine sehr interessante Tagung, an der die Zeit für die anregenden fachlichen Diskussionen zu knapp war. Weitere Informationen finden sie hier:

[www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00046/index.html?lang=de](http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00046/index.html?lang=de)

Arbeitsmedizinischer Stufenplan		
1.	Elimination der Gefahr des Stoffes	Weglassen, ersetzen
2.	Technische Massnahmen	Umbauen, andere Technik
3.	Organisatorische Massnahmen	Alles was an der Arbeitsorganisation verändert werden kann
4.	Persönliche Massnahmen	PSA, Verhalten, Arbeitstechnik
5.	Medizinische Vorsorge	Untersuchung, Behandlung
6.	Beschäftigungsbeschränkung	Belastung kürzen, einschränken

**Tabelle 3: Arbeitsmedizinischer Stufenplan in Anlehnung an Dr. Trippel**