Zeitschrift: Zivilschutz = Protection civile = Protezione civile
Herausgeber: Schweizerischer Zivilschutzverband
Band: 8 (1961)
Heft: 6

Artikel: Strahlengefährdung des Menschen
Autor: Fritz-Niggli, Hedi
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-365208

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Strahlengefährdung des Menschen

Von Prof. Dr. phil. *Hedi Fritz-Niggli*, Leiterin des Strahlenbiologischen Laboratoriums der Universität Zürich

Noch nie wurde so viel über die Gefährdung des menschlichen Lebens durch energiereiche Strahlen gesprochen wie in letzter Zeit. Jedermann fühlt sich durch die zunehmende Radioaktivität bedroht, und die Gefahren eines Atomkrieges treten plastisch hervor. Erst jetzt wird der Stimme der Wissenschaft aufmerksames Gehör geschenkt, die seit jeher und immer vor jeder überflüssigen Strahlenbelastung des Menschen gewarnt hat. Die Forscher stehen den Problemen der Strahlengefährdung nicht unvorbereitet gegenüber. Sie bemühen sich seit Jahren, in Experimenten die Wirkung der Strahlen kennenzulernen, Strahlenschäden zu verhindern und zu heilen. Die Erfahrungen von Hiroshima und Nagasaki und besonders aus Strahlenunfällen bereicherten ihr Wissen um den Schaden und seine Heilungsmöglichkeit. Es sei von diesen Erkenntnissen berichtet, mit dem Hauptakzent auf dem Thema der Radioaktivität.

Unsere Bevölkerung kann auf verschiedenste Weise mit gefährlichen und gesundheitsschädlichen Strahlenmengen in Berührung kommen, u. a. durch:

1. Unvorsichtiges Handhaben von Apparaturen, welche Röntgenstrahlen aussenden (Nichtbeachten der Strahlenschutzmassnahmen für Patient und Arzt). Unvorsichtiges Manipulieren mit radioaktiven Isotopen in Forschung, Technik und Medizin, ohne zweckmässige Schutzmassnahmen (Beispiel: Leuchtfarbenindustrie).
2. Unfälle in Atomreaktoren.
3. Nicht vorschriftsgemässes Aufbewahren der radioaktiven Abfälle bei der Gewinnung von Kernenergie.
4. Durch die weltweite Verseuchung (Fallout) mit radioaktiven Stoffen und Testexplosionen von Kernwaffen (A- und H-Bomben).
5. Durch die Explosion von Kernwaffen im Atomkrieg, entweder durch die Anfangsstrahlung oder in Form des radioaktiven Ausfalls.

Die überflüssigen Strahlenmengen, die uns in Punkt 1 bis 3 bedrohen, sind vermeidbar, und es liegt in unserer Hand, den Strahlenpegel während der friedlichen Verwertung der Atomkraft so niedrig wie möglich zu halten. Die Strahlenmenge, die aber durch Kernwaffen freigesetzt wird (4 und 5), lässt sich nicht von uns aus der Welt schaffen. Hingegen können Vorkehrungen getroffen werden, um mit möglichst wenig Strahlen in Berührung zu kommen und die Gefährdung auf das kleinstmögliche Mass zu reduzieren. Wir können uns vor einer Gefahr nur zweckmässig schützen, wenn wir sie kennen, und zwar genügt es nicht, lediglich Strahlenschäden aufzuzählen, ohne etwas über die Natur des schädlichen Agens, radioaktiver Isotope beispielsweise, zu erfahren.

Ionisierende Strahlen, radioaktive Isotope und Dosiseinheiten

Unter dem Begriff ionisierende Strahlen sind Strahlen zusammengefasst, denen allen die Fähigkeit eigen ist, Ionisationen auszulösen. Es sind dies einerseits Röntgen- und Gammastrahlen als Wellen-(Photonen-)Strahlen und anderseits Protonen-, Alpha- und Betastrahlen als Korpuskularstrahlen, während Neutronen indirekt ionisieren.

Als Dosiseinheit der ionisierenden Strahlung dient das rad, wobei 1 rad der Energiemenge von 100 erg/g entspricht. Um die biologisch unterschiedliche Wirksamkeit verschiedener Strahlenarten einzubeziehen, verwendet man die Dosiseinheit rem, die dem rad, multipliziert mit dem Faktor der biologischen Wirksamkeit, entspricht. Die Umrechnung ist schwierig, variiert von Objekt zu Objekt, von Kriterium zu Kriterium, so dass wir zumeist von der Dosiseinheit rem absehen.

Die radioaktiven Isotope senden bei ihrem Zerfall Alpha-, Beta- und Gammastrahlen aus, deren Menge in der Dosiseinheit rad bestimmt werden kann. Die Gesamtaktivität des radioaktiven Isotops bzw. der radioaktiven Kernart (Radionuklid) aber wird in Curie gemessen. Dabei entspricht 1 Curie (c) derjenigen Menge einer radioaktiven Kernart, deren Aktivität $3{,}700 \cdot 10^{10}$ Zerfallsakte = 37 Milliarden pro Sekunde beträgt. Im Millicurie (mc) ereignen sich 37 Millionen Zerfallsakte, im Mikrocurie 37 000 und im Pikocurie (pc) = 1 billionstel Curie 0,037 Zerfallsakte pro Sekunde.

Die Lebensdauer der verschiedenen Radionuklide ist ganz unterschiedlich. So dauert es beispielsweise gegen 28 Jahre, bis 50 % der Kerne von Strontium 90 zerfallen sind, während dies bei Jod 131 bereits nach acht Tagen der Fall ist. Die Zeit, in der die Zahl der ursprünglich vorhandenen radioaktiven Substanz auf die Hälfte abnimmt, wird physikalische Halbwertzeit genannt. Wenn nach 28 Jahren 50 % von Strontium zerfallen sind, wird nach weiteren 28 Jahren von diesen 50 % wiederum die Hälfte = 25 % zerfallen sein, nach einer weiteren Halbwertzeit, in total 84 Jahren, wiederum die Hälfte = 12,5 % usw. Kurzlebige Spaltprodukte wiegen nach einer Atombombenexplosion im radioaktiven Niederschlag vor, während verständlicherweise nach Jahren nur noch die langlebigen wichtig sind.

	Physikalische Halbwertzeit		%-Anteil zur Gesamtaktivität des Fallout nach:		
			1 Tag	1 Monat	1 Jahr
Strontium 90	27,4	Jahre	—	—	1,8
Strontium 91	9,6	Stunden	6,7	—	—
Zirkon 95	63	Tage	—	8,2	7,3
Niobium 97	73	Minuten	9,6	—	—
Jod 131	8,05	Tage	—	3,7	—
Caesium 137	30	Jahre	—	—	1,5
Cerium 144	285	Tage	—	2,0	26,5

Folgerung: Die Radioaktivität kurzlebiger Radionuklide klingt entsprechend ihrer Halbwertzeit nach kurzer Zeit ab. Verunreinigte Gegenstände und verseuchte Gebäude reinigen sich selber und sind nach einer gewissen Zeit frei von gefährlicher Strahlung. Dies gilt nicht für langlebige radioaktive Isotope, die zum Teil nach Hunderten von Jahren noch strahlen. Strontium 91, das genau wie Strontium 90 im Knochengewebe aufgenommen wird, ist relativ ungefährlich, weil es nach kurzer Zeit seine Radioaktivität verliert. Die Radioaktivität von Strontium 90 dagegen wird nach etwa 28 Jahren lediglich um die Hälfte abnehmen.

Nicht die Zahl der Zerfallsakte pro Sekunde beschreibt die Gefährlichkeit eines radioaktiven Isotops genau, sondern die Zahl der Ionisationen, die im Gewebe durch die Strahlung ausgelöst werden (bzw. die absorbierte Energiemenge), also die Zahl rad. Die Umrechnung von Curie in rad ist kompliziert, da gewisse Radionuklide beim Zerfall α-, β- und γ-Strahlen aussenden, da die Dimension der Strahlenquelle, die Energie

der Strahlung sowie der Abstand von der Strahlenquelle entscheiden. Der Abstand kann bei der Dosisbestimmung für ein bestimmtes Organ vernachlässigt werden, wenn das Radionuklid im betreffenden Organ gespeichert wird und die Strahlung eine gewisse Reichweite besitzt. Betrachten wir das radioaktive Caesium 137, das im radioaktiven Niederschlag explodierter Atomwaffen vorhanden ist. Caesium 137 sendet beim Zerfall vornehmlich Gammastrahlen einer Energie von 0,66 MeV (MeV = Megaelektronenvolt) aus. Es ist ein sogenannter Gammastrahler. Nehmen wir nun an, das Caesium 137 sei punktförmig konzentriert, dann erhält das Gewebe, das 1 cm entfernt ist, durch 1 Millicurie 3,4 rad pro Stunde oder durch 100 Pikokurie 0,00034 Millirad pro Stunde. Die Energie der Strahlung entscheidet über ihre Reichweite; je energiereicher sie ist, um so tiefer dringen die Strahlen in das Gewebe ein. So sendet beispielsweise Kobalt 60 Gammastrahlen aus, die eine viel höhere Energie besitzen als diejenigen von Caesium, nämlich 1,17 und 1,33 MeV gegenüber 0,66 MeV. Ihre durchschnittliche Reichweite ist grösser, und damit strahlt 1 Millicurie 13,5 rad pro Stunde auf ein Gewebe aus, das sich 1 cm entfernt befindet.

Für die Bestimmung von höchstzulässigen Dosen ist es wichtig, zu wissen, welche Dosis ein Gewebe während des Zerfalls der gespeicherten Radionuklide erhält. Betastrahlen besitzen im Gegensatz zu den Gammastrahlen eine begrenzte Reichweite, die wiederum von der Höhe der Energie abhängt. Die Betastrahlen von Tritium (Wasserstoff 3) mit der durchschnittlichen Energie von 0,005 MeV dringen nur 1 bis 1,2 tausendstel Millimeter ins Gewebe ein. Befindet sich aber das Tritium in oder in unmittelbarer Nähe von lebenswichtigen biologischen Einheiten, wird die Strahlung gefährlich. Man kann die Dosen berechnen, welche das Gewebe durch den Zerfall inkorporierter Radionuklide erhält. Hat sich beispielsweise 1 Mikrocurie (millionstel Curie) Strontium 89 in 1 Gramm Knochengewebe angesammelt, dann wird dieses Gewebe bis zum völligen Zerfall des Strontiums 2240 rad erhalten.

Folgerung: Nicht die Radioaktivität, gemessen in Curie, kann uns einen Anhalt über die Strahlenmenge geben, der ein Gewerbe ausgesetzt ist, sondern lediglich der nach Berücksichtigung aller Faktoren in rad umgerechnete Wert.

Strahlenschäden

Die Strahlen können auf den Menschen von aussen einwirken (als äussere, externe Bestrahlung), durch Strahlen von Apparaturen oder Radionukliden, oder von innen, als innere, interne Bestrahlung durch inkorporierte radioaktive Isotope. Streng muss ferner zwischen den Folgen einer totalen Bestrahlung, welche auf den ganzen Körper einwirkt, und einer lokalen Bestrahlung unterschieden werden, welche nur bestimmte Körperregionen betrifft. Eine Totalbestrahlung mit 400 rad vermag den Menschen zu töten, während die gleichen 400 rad, lokal auf eine bestimmte Stelle begrenzt, nicht einmal eine Hautrötung verursachen und das Allgemeinbefinden überhaupt nicht beeinträchtigen. Dieses Phänomen erklärt, dass in der Krebstherapie mit ionisierenden Strahlen grosse Strahlenmengen (bis 6000 rad) verabreicht werden können, ohne dass der Patient gesundheitlichen Schaden erleidet. Ferner spielt es für bestimmte Strahlenschäden eine enorme Rolle, ob die Strahlen in kurzer oder in längerer Zeit verteilt werden. Dieser Erholungsfaktor tritt aber nicht bei allen Strahlenschäden in Erscheinung. Bei einigen und gerade den besonders wichtigen Schäden summieren sich die Strahlenwirkungen, und verschiedene Gewebe, wie beispielsweise Tumoren, werden durch eine verzettelte Strahlenmenge wirksamer zerstört als durch einmalige und konzentrierte Bestrahlung.

Als Beispiel der verschiedenen Einwirkungsmodi sei die Explosion einer Atombombe zitiert. Die kräftige Initialstrahlung innerhalb der ersten Minute nach der Explosion, die vorwiegend aus durchdringenden Gammastrahlen und Neutronen besteht, wirkt auf den Menschen als gefährliche Totalbestrahlung ein. Ist der Mensch teilweise geschützt, zum Beispiel in einem Graben, spricht man von einer Lokalbestrahlung. Die radioaktiven Spaltprodukte und die durch Neutronen induzierte Radioaktivität sind Ursache der sogenannten Reststrahlung, die uns in weltweiter Verseuchung noch Jahre nach der Explosion erreichen kann. Drei Stunden nach Explosion der Bikini-Bombe im Jahre 1954 fiel auf einen japanischen Thunfischerdampfer ein radioaktiver Aschenregen, der etwa fünf Stunden dauerte und das Schiff sowie die Insassen mit Ascheteilchen bedeckte. Vierzehn Tage dauerte es, bis das Schiff den Heimathafen anlaufen konnte, und während dieser Zeit waren die Fischer einer äusseren chronischen allgemeinen und lokalen Bestrahlung durch die Gamma- und Betastrahlen der Radionuklide der Asche ausgesetzt, die sich auf dem Boden, den Wänden usw. und zum Teil auch auf ihnen befanden. Gleichzeitig gelangten Radionuklide durch Einatmen, Essen und Trinken von radioaktiven Nahrungsmitteln in das Körperinnere und wirkten als interne Bestrahlung. Man unterscheidet somatische Strahlenschäden, die nur das Gewebe und die Zellen des Körpers angehen, also nicht auf die Nachkommen übertragen werden und zum Teil reversibel sind, und genetische, irreversible Strahlenschäden, welche Erbfaktoren ändern und auf die kommenden Generationen übertragen werden können.

Somatische Schäden

Die somatischen Schäden lassen sich wiederum einteilen in akute Strahlenschäden, wie die Strahlenkrankheit des Menschen, Spätschäden und Schäden des Embryo, Fötus (Fruchtschäden) und des Kindes.

Strahlenempfindliche Organe und Zellen: Die ionisierenden Strahlen beeinflussen den allgemeinen Stoffwechsel, den Wasser- und Elektrolythaushalt des Körpers, das Wachstum, die Vitalität, die Differenzierung von Geweben und Organen. Sie verursachen pathologisch-anatomische Aenderungen, die bis zur völligen Zerstörung der betreffenden Organe führen können. Da diese Aenderungen ebenso spektakulär wie weittragend sind, werden sie meist als Kriterium für die Strahlenempfindlichkeit eines Organes gewählt. Sehr strahlenempfindlich sind lymphatische Organe, wie Lymphknoten, Thymus, Milz, Lymphfollikel des Darmes, deren Keimzentren bereits durch 25 rad geschädigt werden. Strahlenempfindlich ist ebenfalls das Knochenmark, indem durch 50 bis 100 rad teilweise die reifenden roten Blutkörperchen und weissen Blutelemente zerstört werden. Männliche und weibliche Keimdrüsen reagieren auf Bestrahlung durch 250 bis 350 rad mit einer Einstellung der Erzeugung von Keimzellen, also mit Sterilität. Sehr empfindlich ist auch die Schleimhaut des Dünndarms und etwas weniger empfindlich das Auge, dessen Linse durch 350 rad irreversibel geschädigt werden kann. Die Haut ist mässig strahlenempfindlich; sie reagiert auf mittlere Dosen mit Haarausfall und Rötung, Bräunung oder Pigmentschwund (400 bis 500 rad). Die Gewebe der Leber, der Lunge, des Gehirns, des Herzens usw. zeichnen sich durch eine gewisse Strahlenresistenz (Stoffwechseländerungen nicht berücksichtigt) aus.

Bis zu einer gewissen Dosis sind die meisten somatischen Schäden reversibel; die Gewebe erholen sich, die lymphatischen Organe bilden wieder Lymphozyten, das Knochenmark regeneriert, und die Sterilität kann vorübergehend sein.

Folgerung: Radioaktive Isotope, die sich in strahlenempfindlichen Organen speichern, sind besonders gefährlich. Somatische Schäden sind teilweise reversibel, und die geschä-

digten, bestrahlten Gewebe können sich erholen.

Die strahlenempfindlichen Organe und ihre Reaktionen bestimmen das akute Strahlensyndrom, die Strahlenkrankheit des Menschen.

Akute Schäden und Strahlensyndrom des Menschen bei Totalbestrahlung

Da die Strahlen unsichtbar sind, sich ihre bedeutsamen Folgen erst relativ spät zeigen, und die einwirkende Strahlenmenge oft schwer geschätzt werden kann, ist es wichtig, die Frühsymptome der Strahlenkrankheit genau zu kennen. Sie dienen dem Kundigen als Masstab für die mutmassliche Strahlendosis. Japanische Aerzte beschreiben drei Stadien der Strahlenkrankheit.

Frühstadium I: Vom Augenblick der Detonation bis zum zehnten Tag. Als erstes Symptom tritt, bei schwerer, tödlicher Bestrahlung schon nach 30 Minuten, Uebelkeit und starkes Erbrechen auf. Durchfälle, Fieber, Schwindelgefühl können folgen, die sich bei den Schwerstbetroffenen zu schweren blutigen Durchfällen mit Wasserverlust verstärken und zum baldigen Tod innerhalb zweier Wochen führen. Nach geringerer Strahlenbelastung kann es nach ein bis zwei Tagen zu einem Abklingen der Frühsymptome kommen und zu einer relativ beschwerdelosen Latenzzeit von etwa 10 bis 14 Tagen. Allgemein kann gesagt werden, dass, je stärker die Bestrahlung war, um so rascher Schwindelgefühl, Uebelkeit und Erbrechen einsetzen. Doch dürften auch psychische Faktoren ihre Rolle spielen. Das Blutbild der ersten 48 Stunden gibt keinen Hinweis auf die Schwere des Schadens, da die Zahl der meisten Blutkörperchen im normalen Bereich bleibt. Nur die Lymphozyten nehmen an Zahl ab, was sie aber auch schon mit nicht tödlichen Dosen, z. B. 100 rad, tun. Eindeutige Befunde ergeben erst Knochenmarkuntersuchungen nach 12 und 36 Stunden, wie sie nach Strahlenunfällen durchgeführt werden.

Phase II: Nach einer ruhigen Latenzzeit von 10 bis 14 Tagen treten erneut Uebelkeit, blutige Durchfälle und Fieber auf, zu denen sich punktförmige Blutungen in Haut und Schleimhaut, Entzündung der Schleimhaut, Nasenbluten, Haarausfall usw. gesellen. Diese unheimliche Krankheit unter den sich schon gerettet wähnenden Bürgern von Hiroshima und Nagasaki löste Entsetzen aus, und die Aerzte glaubten zunächst an eine Darmepidemie. Prognostisch ungünstige Zeichen sind der Abfall der weissen Blutkörperchen auf 1000/mm^3 (normal 4000 bis 8000/mm^3). Hatten die Kranken den kritischen Zeitpunkt des Tiefstandes der weissen Blutkörperchen überwunden, dann besserte sich das Befinden oft rasch. Nach einer Dosis zwischen 20 bis 150 rad dauerte die symptomfreie Latenzzeit bis zu fünf Wochen, um in eine Periode mit Fieber, Durchfällen, Blutungen und manchmal Haarausfall überzugehen.

Phase III: In diesem Wiederherstellungsstadium sind viele Symptome abgeklungen. Zurück bleiben oft Anämie, Magerkeit, Anfälligkeit für chronische Infektionen, Sterilität, Appetitlosigkeit.

Der Strahlentod tritt mit grösster Sicherheit nach Totalbestrahlung über 600 rad ein, mit 50 % Wahrscheinlichkeit nach rund 300 bis 600 rad, und erste Todesfälle könnten sich durch etwa 100 rad ereignen. Bei dieser Zusammenstellung sind ärztliche Rettungsversuche nicht berücksichtigt.

Nach der Einwirkung von Betastrahlen und energieärmeren «weicheren» Röntgenstrahlen werden vornehmlich die Haut, die Haarfollikel und die Augen belastet. Sonderbarerweise wird von den meisten Menschen unmittelbar nach der Bestrahlung mit Betastrahlen ein Brennen und Jucken verspürt, gefolgt von Oedemen und Rötung. Eine extreme interne Bestrahlung mit einer grossen Menge inkorporierter Radionuklide führt zu den Symptomen der Strahlenkrankheit nach Totalbestrahlung.

Folgerung: Alarmierende Zeichen einer schweren Strahlenbelastung (über 75 rad): Uebelkeit, Erbrechen, Abfall der Lymphozyten, Haarausfall (erst nach einigen Tagen), Brennen der Haut bei Betastrahlen, Hautrötung (lokale Bestrahlung), Durchfälle, Wasserverlust.

Spätschäden

Die Folge einer einmaligen oder chronischen Bestrahlung tritt oft erst nach Jahren auf. So bildete sich beispielsweise erst 22 Jahre nach der Injektion mit Thorium ein Sarkom. Spätschäden sind: Hautveränderungen, Geschwüre, Anämien, Krebs, Nierenveränderungen, Star, Verkürzung der Lebensdauer usw.

Viel diskutiert ist das Problem einer Schwellendosis bei der Krebsentstehung und besonders der Strahleninduktion von Leukämie, die eine maligne Wucherung der Blutbildungsstätten darstellt. Während für Dosen über 100 rad (Totalbestrahlung) ein Zusammenhang mit der Entstehung von Leukämie sicher scheint, gilt dies für niedrige Dosen nicht. Besonders gefährdet ist das Kind, welches nach lokaler Bestrahlung der Halsgegend mit wiederum höheren Dosen als 100 r (Thymustherapie) an Geschwülsten der Schilddrüse erkranken kann. Ebenso ist der Entscheid noch nicht gefallen, ob kleinste Strahlenmengen in geringem Mass lebensverkürzend wirken.

Folgerung: Für die somatischen akuten und späten Strahlenschäden gibt es einen Schwellenwert. Mit Dosen unterhalb dieses Wertes stellen sich mit Sicherheit keine klinischen Schäden ein. Die Frage, ob dieser Schwellenwert auch für Leukämie gilt, ist nicht abgeklärt. Aufschluss werden Untersuchungen an Menschen geben, die natürlicherweise durch die Umgebungsstrahlung einer grösseren Strahlenbelastung ausgesetzt sind als andere. So leben in Kerala (Indien) auf einem Küstenstrich mit radioaktivem Monazitsand gegen 100 000 Menschen, die jährlich bis zu 4 rad (das 40fache der Norm) erhalten.

Schäden der Frucht und des Kindes

Embryonen sind ganz besonders strahlengefährdet, wobei sich der zwei- bis sechswöchige menschliche Embryo durch die grösste Empfindlichkeit auszeichnet. Bereits eine Dosis mit 25 rad erzeugte bei Mäusen Missbildungen, wenn sie als Embryonen bestrahlt worden waren. Mit der Bildung der Organe tritt der Mensch in die Fötalperiode ein, die sich durch zunehmende Strahlenresistenz auszeichnet. Immerhin können Wachstumshemmung, Starbildung auftreten, Schäden, die sich auch nach Bestrahlung des Kindes (besonders des Neugeborenen) bemerkbar machen.

Folgerung: Werdende Mütter und Kinder (besonders Neugeborene) sind demnach am sorgfältigsten vor jeder zusätzlichen Strahlenbelastung zu schützen. Sie sind die ersten, die in unverseuchtes Gebiet gebracht werden müssen.

Genetische Schäden

Ionisierende Strahlen sind das bequemste Mittel für den Forscher, um die stabile Erbmasse zum Aendern, zur Mutation zu bringen. Diese nützliche Eigenschaft verkehrt sich im Atomzeitalter in ihr Gegenteil. Denn die allermeisten Mutationen sind für die Nachkommen schädlich, und sie werden durch kleinste Strahlenmengen ausgelöst, die aber direkt die Keimzellen treffen müssen. Ein Schwellenwert scheint nicht zu existieren.

Folgerung: Die Gonaden stellen das gefährdetste Organ zwar nicht für den Träger, aber für die Menschheit dar. Nur die direkte Bestrahlung der Keimzellen wirkt. Durch die lokale Bestrahlung der Lunge beispielsweise werden keine Keimzellmutationen augelöst. Die genetischen Schäden sind irreversibel, jede Bestrahlung zählt, und die Strahlenwirkungen summieren sich.

Natürliche Strahlenbelastung in der Schweiz

Natürlicherweise ist der Mensch stets Strahlen ausgesetzt, und zwar einer äusseren Bestrahlunng (durch

kosmische Strahlung, Radon der Luft, Strahlen der Umgebung) und einer innern (Kalium 40, Kohlenstoff 14, Radon). Die Umgebungsbestrahlung variiert je nach radioaktivem Gestein des Bodens, Hausbeschaffenheit usw. Sie beträgt nach den neuesten Messungen:

Jura	20— 60 Millirad pro Jahr
Mittelland	115—175 Millirad pro Jahr
Alpen	120—240 Millirad pro Jahr

In den Alpen mit ihrem radioaktiven Gestein ist die Umgebungsstrahlung am höchsten. Die kosmischen Strahlen nehmen mit der Höhe zu und betragen in den Alpen auf 1500 m Höhe etwa 66 Millirad gegenüber 45 Millirad im Mittelland auf 450 m Höhe. Zusammen mit der Eigenstrahlung des Menschen von 20 Millirad resultieren folgende Totalwerte:

Jura	85—125 Millirad pro Jahr
Mitteland	115—175 Millirad pro Jahr
Alpen	200—300 Millirad pro Jahr

Höchstzulässige Dosen und Aktivitätsmengen

Wie aus dem Vorangegangenen hervorgeht, lassen sich für somatische Schäden Dosen bestimmen, die nach menschlichem Ermessen keinen Schaden verursachen. Es existieren demnach Schwellenwerte, und höchstzulässige Dosen lassen sich berechnen, die der Mensch ohne Nachteil seiner Gesundheit erträgt. Da mit grösster Sicherheit dagegen für die genetische Schädigung keine harmlose Schwellendosis existiert, kann lediglich eine maximal zulässige genetische Dosis (MZD) geschätzt werden, welche für die gesamte Menschheit ohne Schaden ist. Die International Commission on Radiological Protection unterscheidet deshalb in ihrer neuesten Veröffentlichung (adopted September 9, 1958, erschienen Pergamon Press 1959) zwischen MZD für berufliche Strahlenbelastung und für die gesamte Menschheit. Dabei gelten diese MZD für berufliche Strahlenbelastung als Massstab für die Verhütung somatischer Schäden, während die MZD für die Gesamtbevölkerung die Grenze angibt, bis zu der die Strahleninduktion von genetischen Schäden noch tolerierbar ist.

Höchstzulässige Gonadendosen

Berufliche Belastung

3 rem *	in 13 Wochen (für Alter über 18 Jahre)
235 rem	«Ganzkörperbestrahlung» für Periode 18 bis 65 Jahre
60 rem	auf Gonaden bis 30 Jahre

* rem = rad multipliziert mit dem Faktor der relativen biologischen Wirksamkeit. Für Röntgen- und Gammastrahlen rem = rad.

Empfohlen: 0,1 rem (100 Millirem) pro Woche
5 rem im Jahr

Höchstzulässige Gonadendosen

Gesamtbevölkerung

In 30 Jahren nicht mehr als	5 rem
plus medizinische Belastung	1 rem
	6 rem

6 rem = zweimal natürliche Belastung (30 Jahre 3 rem)

Die MZD pro Woche im praktischen Gebrauch beträgt 0,1 rem oder 100 Millirem, im Jahr etwa 5 rem. Da die beruflich mit Strahlen beschäftigten Menschen nur einen geringen Teil der Bevölkerung darstellen, werden die Mutationen, die durch diese 5 rem entstehen können, den Mutationenbestand der gesamten Bevölkerung nur unwesentlich vergrössern. Für die gesamte Menschheit wurde dagegen lediglich eine durchschnittliche Dosis für die Periode von 30 Jahren (d. h. eine Generationendauer) von 5 rem zuzüglich der medizinischen Belastung von 1 rem, also insgesamt 6 rem, gewählt. Diese MZD gelten für die äussere Einwirkung von ionisierenden Strahlen, seien sie nun von Röntgenapparaturen oder von radioaktiven Isotopen ausgestrahlt.

Für die interne Bestrahlung durch Inkorporation radioaktiver Isotope müssen andere Berechnungen angestellt werden. Die maximal zulässige Konzentration (MZK) von Radionukliden wurde nach den Regeln für die externe Bestrahlung (siehe oben) berechnet. Dabei muss für jedes radioaktive Isotop eine eigene MZK bestimmt werden, die wiederum verschieden ist, wenn das Radionuklid in löslicher Form oder unlöslich vorliegt. Die Gefährlichkeit der Radionuklide, die sich chemisch gleich wie die entsprechenden stabilen Isotope verhalten, hängt von folgenden Faktoren ab:

Physikalische Eigenschaften:

1. Art der ausgesandten Strahlung,
2. Energie der Teilchen bzw. der Photonen,
3. Physikalische Halbwertzeit.

Physiologische Eigenschaften:

1. Art der Aufnahme im Körper,
2. Ablagerung und Ausscheidung (biologische Halbwertzeit),
3. Strahlensensibilität der zur Speicherung bevorzugten Organe.

Eine MZK für Natrium 24 kann viel höher gewählt werden als diejenige für Strontium 90, weil nach etwas mehr als einem halben Tag nach Inkorporation bereits die Hälfte der aufgenommenen Natrium-24-Kerne zerfallen sind, während dies für Strontium 90 erst in 28 Jahren der Fall ist. Eine ebenso grosse Rolle spielt die biologische Halbwertzeit, welche die Periode angibt, in der die Hälfte der aufgenommenen Radionuklide aus dem Körper ausgeschieden sind. Es kann nun vorkommen, dass ein Radionuklid mit langer physikalischer Lebensdauer nur eine kurze biologische besitzt und dadurch an Gefährlichkeit verliert, wie z. B. Tritium (überschwerer Wasserstoff). Seine physikalische Halbwertzeit beträgt 4500 Tage, die biologische aber nur 12 Tage. Das heisst in 12 Tagen ist nur noch die Hälfte des aufgenommenen Tritiums vorhanden.

Wichtig ist das kritische Organ, d. h. das Organ, in dem sich die Radionuklide selektiv anreichern und dessen Strahlenbelastung für die Gesundheit des Menschen am nachteiligsten ist. Strontium 90 wird vorzugsweise im Knochen gespeichert und bestrahlt das strahlenempfindliche Knochenmark. Caesium 137 wird in allen Körperzellen aufgenommen und kann sogar die Gonaden bzw. die Keimzellen erreichen. Ein Radionuklid, das selektiv in den Gonaden angereichert wird, ist der für die Menschheit gefährlichste Strahlenspender, wenn seine effektive Halbwertzeit lang ist. Im folgenden sind einige Werte für Kernarten angegeben, die sich relativ häufig im radioaktiven Niederschlag finden. Da die radioaktiven Isotope durch die Atemluft oder durch Trinkwasser aufgenommen werden können, unterscheidet man zwischen einer MZK Luft und einer MZK Wasser. Die Werte beziehen sich auf die berufliche Strahlenbelastung (168 h/Woche).

Radionuklid	Strahlung	Kritisches Organ	Höchstzulässige Menge in μc	MZK Luft Pikocurie/m³	MZK Wasser Pikocurie/cm³
Natrium 24	β, γ	ganzer Körper	7	600 000	4 000
Strontium 90	β	Knochen	2	100	1
		ganzer Körper	20	300	4
Jod 131	β, γ	Schilddrüse	0,7	3 000	20
		ganzer Körper	50	300 000	2 000
Caesium 137	β, γ	ganzer Körper	30	20 000	200

Die International Commission on Radiological Protection empfiehlt für eine kleinere Bevölkerungsgruppe, die sich zum Beispiel in unmittelbarer Nähe von Atomreaktoren befindet, eine Reduktion auf einen Zehntel, das heisst, wir müssen die Werte der Tabelle durch zehn teilen. Dabei wird der Mutationszuwachs zum Mutationsbestand der Menschheit berücksichtigt, der durch die Bestrahlung dieser kleineren Bevölkerungsgruppen entsteht. Die höchstzulässige Konzentration für die gesamte Bevölkerung wird noch mehr reduziert, und zwar auf einen Dreissigstel. Dieser Dreissigstel der MZK für beruflich Strahlenexponierte entspricht der MZD von 5 rad in dreissig Jahren. Die Kommission spricht sogar von einer Reduktion auf einen Hundertstel, besonders für Radionuklide, die sich in den Zellen des menschlichen Körpers und speziell in den Gonaden anreichern, doch ist sie sich noch nicht einig, welche Radionuklide in diese Kategorie fallen sollten. Die MZK für jeden einzelnen Erdenbürger würde demnach folgende Werte ergeben (Reduktionsfaktor ein Dreissigstel):

Natrium 24	20 000	Pikocurie/m³ Luft
Strontium 90 (Knochen)	3,3	Pikocurie/m³ Luft
Caesium 137	670	Pikocurie/m³ Luft

Da aber meistens Gemische von Radionukliden gemessen werden und auch Gemische im Fallout zu uns gelangen, sind für die Praxis die MZK für nichtidentifizierte Radionuklide wichtig. Je mehr gefährliche Radionuklide ausgeschlossen werden können, um so höher liegt die MZK. Der niedrigste Wert gilt für den Fall, dass überhaupt keine Analyse des Wassers und der Luft gemacht wurde.

MZK für Gemische von Radionukliden in der Luft (berufliche Belastung, 168 h/Woche)*

Radionuklide, die nicht oder nur in vernachlässigbarer Menge anwesend sind	Pikocurie/m³ Luft
Alle Alphastrahler und Betastrahler, wie Strontium 90, Jod 129, Blei 210, Actinum 227, Radium 228, Protactinium 230, Plutonium 241 und Berkelium 249 . . .	1000
Alle Alphastrahler und Actinium 227	10
Analyse der Luft nicht durchgeführt . . .	0,4

MZK für Gemische von Radionukliden im Wasser (berufliche Belastung, 168 h/Woche)*

Radionuklide, die nicht oder nur in vernachlässigbarer Menge anwesend sind	Pikocurie/cm³ Wasser
Strontium 90, Jod 126, 129, 131, Blei 210, Polonium 210, Astatin 211, Radium 223, 224, 226, 228, Actinium 227, Thorium 230, Protactinium 231, Thorium 232 und nat. . .	30
Strontium 90, Jod 129, Blei 210, Radium 226, 228 . .	7
Radium 226, 228	1
Keine Analyse	0,1

* Auszug aus der offiziellen Tabelle.

Folgerung: Pikocuriezahlen, die in der Presse erscheinen und Auskunft über eine erhöhte Radioaktivität geben sollen, haben nur einen Wert, wenn angegeben wird, was gemessen wurde.

Prophylaxe des Strahlenschadens

Es bestehen viele physikalische Schutzmöglichkeiten vor Strahlen und Strahlennukliden, die schon von anderer Seite diskutiert worden sind. Schutz bedeutet Distanz, Zwischenschalten von absorbierenden Schichten, Aufenthalt im Keller, Fernhalten der Radionuklide, die wie giftige Krankheitskeime zu behandeln sind. Durch Zufuhr von chemisch gleichen oder stoffwechselgleichen Substanzen lässt sich die Inkorporation von Radionukliden herabsetzen. So vermindern Kalziumverabreichungen an Kinder die Aufnahme von Strontium im Körper. Ebenso können durch verschiedene Mittel bereits inkorporierte strahlende Stoffe ausgeschwemmt, dekorporiert werden, und neuerdings wurde die Anregung gemacht, den Stoffwechsel des Knochengewebes durch Hormone anzuregen und damit bereits eingelagertes Strontium auszutreiben.

Bedeutsam ist die Entdeckung der Strahlenbiologen, dass der Strahlentod der Säugetiere drastisch durch eine entsprechende Vorbehandlung vermieden werden kann. Es existiert ein chemischer Strahlenschutz. Injiziert man beispielsweise Mäusen kurz vor einer Totalbestrahlung mit 800 rad die chemische Substanz Cysteinamin, dann bleiben alle Tiere am Leben, die ohne Behandlung zu 100 % gestorben wären. Hochwirksame Strahlenschutzstoffe sind ferner Cysteaminderivat (AET) und Serotonin, während viele andere Substanzen eine mässig schützende Wirkung aufweisen, so Nitrile, Cyanide, Amine, Zucker, Glyzerin usw. Da die verschiedenen Strahlenschutzsubstanzen den verschiedensten chemischen Gruppen angehören, die untereinander nichts Gemeinsames haben, ist man sich über ihre Wirkungsweise noch nicht im klaren. Eines ist aber sicher, dass sie relativ kurze Zeit vor der Bestrahlung appliziert werden müssen. Nur in wenigen Fällen hat eine Injektion fünf Stunden vor der Bestrahlung eine Wirkung, während meistens maximal eine Stunde vor der Bestrahlung vorbehandelt werden muss. Eine Injektion nach der Bestrahlung nützt nichts. Ansätze zu einer wirksamen Vorbehandlung genetischer Strahlenschäden sind ebenfalls bereits vorhanden. Da die Versuche nur im Tierexperiment durchgeführt worden sind, können wir lediglich annehmen, dass sie dem Menschen helfen.

Folgerung: Ist der Zeitpunkt der Strahleneinwirkung bekannt, kann wahrscheinlich mit Strahlenschutzsubstanzen der Strahlentod unter gewissen Umständen vermieden werden. Es ist ein Anliegen der Strahlenbiologen, Schutzsubstanzen zu finden, die langzeitig wirken.

Therapie der Strahlenschäden

Die Erfahrungen von Japan, aus den Strahlenunfällen in Forschungsinstituten und den durch radioaktiven Niederschlag geschädigten Bewohnern der Marshall-Inseln usw. bilden die Grundlage zum Ausbau einer wirksamen Therapie. In günstigen Fällen kann bei sinnvollem Einsatz ein Mensch selbst nach einer Bestrahlung von 500 rad am Leben erhalten werden. Ein ganzes Spektrum von Behandlungsmöglichkeiten steht zur Verfügung, die qualifizierter Fachleute bedürfen. Völlige Ruhigstellung des Patienten ohne therapeutische Hast mit bester Pflege und ärztlicher Kontrolle sind zunächst die besten Massnahmen. Nach bestem Können der konventionellen Therapie werden die Symptome bekämpft, indem beispielsweise die durch die Bestrahlung vernichteten Blutelemente mit Bluttransfusionen ersetzt werden. Bluttransfusionen und sogar Knochenmarktransplantationen sollen die Zeit bis zur Regeneration des blutbildenden Gewebes überbrücken. Da die Infektionsbereitschaft allgemein erhöht und lokal durch die schweren Schädigungen des Magen-Darm-Traktes verschärft ist, werden Antibiotika eingesetzt. Ebenfalls muss der Wasserverlust wettgemacht werden

Es seien zum Schluss einige Beispiele und Zahlen zitiert. Im Jahre 1958 wurden in Oak Ridge durch einen Unfall in einer Uranaufbereitungsanlage acht Personen Neutronen- und Gammastrahlen ausgesetzt. Drei erhielten Dosen zwischen 22 und 65 rad, wiesen kaum Krankheitserscheinungen auf und kehrten nach vierwöchiger ärztlicher Kontrolle zu ihren Arbeitsstätten zurück. Fünf wurden mit Dosen zwischen 236 und 365 rad belastet, zeigten die bekannten Symptome des Strahlensyndroms und gesundeten nach sorgfältiger Therapie. Zur gleichen Zeit ereignete sich in Jugoslawien ein ähnlicher Unfall mit Dosen, die zum Teil etwas über denjenigen von Oak Ridge lagen. An fünf Personen wurden in der vierten bzw.

fünften Woche Transplantationen des Knochenmarks durchgeführt, um das verödete Knochenmark zu bevölkern, und vier überlebten.

Es kann nicht entschieden werden, ob diese Massnahme zur Genesung führte oder ob die natürliche Regeneration des Knochenmarks den Heilerfolg bestimmte.

Vom radioaktiven Fallout betroffen waren 1954 über 200 Bewohner der Marshall-Inseln. Sie erhielten eine totale Körperbestrahlung zwischen 14 und 175 rad (Gammastrahlen) und waren zusätzlich einer internen Bestrahlung und einer äusseren Betabestrahlung ausgesetzt. 1959 waren die Bestrahlten bei bester Gesundheit, und nur zwölf wiesen Hautveränderungen durch die Betabestrahlung auf. Die somatischen Strahlenschäden hatten sich demnach zum allergrössten Teil als reversibel erwiesen. Nicht geheilt ist aber die strahlengeschädigte Erbmasse, deren Strahlenmutationen unverändert auf spätere Generationen übertragen werden.

(Aus «NZZ», 10./11. Nov. 1961)

ZIVILSCHUTZ

Die nächste am 1. März 1962 erscheinende Nummer I/62 bringt:

Territorialdienst und Zivilschutz
Wohnen im Schutzraum
Zivilschutz in der Schweiz . . .
. . . und im Ausland
Waffen, die uns bedrohen!
Zivilschutzfibel, 13. Folge

Zivilschutz in der Schweiz . . .

Abschied
von Oberstbrigadier Eric Münch

Als im Jahre 1946 Oberst i. Gst. Eric Münch unter gleichzeitiger Beförderung zum Oberstbrigadier die Leitung der Abteilung für Zivilschutz des EMD übernahm, herrschte unter den Angehörigen der damals blauen Luftschutzorganisationen die Frage vor: Wird der neue Chef die Auflösung des Luftschutzes durchführen oder wird er den im Ausbau befindlichen Luftschutz reorganisieren und wiederaufbauen? Anlässlich seiner Wahl hörte man verschiedenes munkeln; unter anderem auch, dass Oberstbrigadier Münch den Auftrag habe, die Liquidation des blauen Luftschutzes durchzuführen. Gespannt war man deshalb auf den ersten Kontakt mit dem neuen Chef, der anlässlich der ordentlichen Generalversammlung der Luftschutz-Offiziersgesellschaft des Kantons Bern in Burgdorf erfolgte. Oberstbrigadier Münch stellte sich mit einem abgewogenen Referat vor, wobei er betonte, dass er als ehemaliger Fechter gewohnt sei, nach den Grundsätzen dieser Waffe offen und fair seine Ueberzeugung zu verfechten. Er erklärte damals, dass er uns noch kein Programm versprechen könne, er wohl einen Auftrag erhalten habe, jedoch zuerst die ganze Frage des Luftschutzes gründlich prüfen müsse. Herr Oberstbrigadier Münch hat sich dann auch während seiner ganzen Tätigkeit in der Leitung der Abteilung für Luftschutz an dieses Versprechen gehalten. Er hat seine Tätigkeit nicht nach einem Auftrag ausgerichtet, sondern die Berechtigung und die Grundlagen der Ausgangsstellung geprüft und, wenn er zur festen Ueberzeugung gelangte, seinen Entschluss gefasst und dementsprechend auch seine Anträge gestellt. Er hat jedoch auch immer die Meinung allfälliger Gegner angehört und, wie ein Fechter im Duell, seine Hiebe ausgeteilt und die Gegenhiebe in der Parade entgegengenommen. Er wurde ein überzeugter Verfechter des Grundsatzes, dass für unsere Landesverteidigung ein kriegsgenügender Luftschutz dringende Notwendigkeit ist. Er kam nach wenigen Jahren seines Amtsantrittes auch zur Ueberzeugung, dass der Luftschutz der Zukunft über eine militärisch ausgebildete Luftschutztruppe verfügen müsse. In harten Kämpfen hat er in den Jahren 1950/51 sein Projekt, die Schaffung einer neuen Waffengattung Luftschutz in der Armee, durchgebracht. Er ist denn auch der Vater der im Jahre 1952 erstmals als neue Waffengattung der Armee auftretende Luftschutztruppe. Zielbewusst hat er die Aufstellung und die Ausbildung dieser Truppe gefördert und sie zu einem Ausbildungsstand geführt, der in der ganzen Armee Anerkennung fand. Diese militärische Truppe steht heute gefestigt da und geniesst bei Volk und Behörden grosses Vertrauen und Ansehen.

So konnte sich Oberstbrigadier Münch in den letzten Jahren mehr und mehr dem Aufbau des zivilen Teiles, dem Zivilschutz, widmen. Es zeigte sich jedoch, dass diese Frage viel schwerer zu lösen ist und grosse Widerstände überwunden werden müssen. So musste es zu Kämpfen kommen, bei denen die Meinungen oft hart aufeinanderprallten. Das Endziel war überall das gleiche: der Aufbau eines gut ausgebildeten und voll einsatzbereiten Zivilschutzes. Die Frage: paramilitärische oder reine zivile Lösung? war nicht leicht zu entscheiden. Heute liegt die Lösung vor dem Parlament, und wir alle hoffen, sie möchte auch beim Volke Zustimmung finden, damit endlich auch diese Lücke voll und ganz ausgefüllt ist. Dann wird auch Oberstbrigadier Münch mit Befriedigung auf sein Werk zurückblicken können.

Oberstbrigadier Münch scheidet auf Jahresende von seinem Amt. Er darf versichert sein, dass er als Vater der Luftschutztruppe und Förderer des Zivilschutzes überall den Dank für seine Dienste finden wird. Auch der Schweizerische Bund für Zivilschutz dankt ihm für seinen Einsatz und wünscht ihm einen recht schönen und geruhsamen Lebensabend. -er.

Feuer breitet sich nicht aus, hast Du MINIMAX im Haus!