

Der heutige Stand der Strahlenbelastung des Menschen

Autor(en): **Wagner, Gerhart**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern**

Band (Jahr): **22 (1964)**

PDF erstellt am: **06.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-319526>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Der heutige Stand der Strahlenbelastung des Menschen²

I. Die natürliche Strahlenbelastung

1. Die natürliche körpereigene Strahlung

Sie rührt vom Gehalt unseres Körpergewebes an zwei natürlichen radioaktiven Stoffen, K-40 und C-14, her: Bei einem Kaliumgehalt des menschlichen Körpers von 0,2 % und einer relativen Häufigkeit des Kalium-40 im natürlichen Kalium von 0,01 % ergibt sich eine Bestrahlung der Gonaden von etwa 18 mr³ pro Jahr.

Tabelle 1 *Mittlere Strahlenbelastung in der Schweiz*

	mr/Jahr
Körpereigene Strahlung (K-40 etwa 19 mr, C-14 etwa 1 mr)	20
Kosmische Strahlung	30
Terrestrische Strahlung	90
Natürliche Strahlenbelastung	Total 140
Medizinische Diagnostik	20
Fallout von Atomexplosionen (1962 = bisheriges Maximum)	10 ⁴
Uhren mit Leuchtzifferblättern	5 ⁴
Schuhdurchleuchtungsapparate, Fernsehapparate usw.	1 ⁴
Künstliche Strahlenbelastung	Total 36

Eine analoge Rechnung für C-14 ergibt eine Gonadenbelastung von etwa 1 mr/Jahr, wobei allerdings die Tatsache, daß der Kohlenstoff ein

¹ Prof. Dr. G. WAGNER, Zoologisches Institut der Universität, Zürich. Ehem. Chef der Sektion für Strahlenschutz des Eidg. Gesundheitsamtes, Bern.

² Sitzung der Naturforschenden Gesellschaft in Bern vom 25. Februar 1964.

³ mr = Milliröntgen.

⁴ Werte sehr approximativ.

Hauptbestandteil der biologischen Substanz, d. h. namentlich der Ferment- und Genmoleküle ist, nicht mitberücksichtigt wird.

2. Die kosmische Strahlung

Sie ist von der Höhe über Meer abhängig, und zwar nimmt sie wegen der Absorption der Strahlung in der Atmosphäre mit der Höhe zu. Sie beträgt 30—80 mr/Jahr in 200—2000 m Höhe (Tabelle 2). Außerdem nimmt sie mit der geomagnetischen Breite zu.

Tabelle 2 *Kosmische Strahlung als Funktion der Höhe über Meer (Schweiz)*

Höhe in m	200	400	800	1200	1600	2000	2400
Dosis in mr/Jahr	32	36	45	54	67	80	95

Die mittlere kosmische Strahlenbelastung der schweizerischen Bevölkerung wurde unter Berücksichtigung der Bevölkerungsanteile in den verschiedenen Höhenlagen auf 38,4 mr/Jahr berechnet.

In größeren Höhen nimmt die Intensität der kosmischen Strahlung zunächst weiterhin progressiv zu. Erst in Höhen von über 10 000 m flacht die Kurve aus, um allmählich die Intensität der primären kosmischen Strahlung (bestehend aus 86 % Protonen, 13 % Alphateilchen und etwa 1 % schwereren Kernen mit einem mittleren Flux von etwa 2 Partikeln pro cm² und Sekunde) zu erreichen. Sie macht, als Strahlendosisleistung ausgedrückt, 5000—12 000 Milliröntgen oder 5—12 Röntgen pro Jahr aus. Ein Pilot, der sich andauernd in der ungeschwächten kosmischen Strahlung aufhielte, bekäme also eine Dosis in der Größenordnung der höchstzulässigen Strahlendosis für beruflich strahlenexponierte Personen, (vgl. S. 191), d. h. die Sache wäre noch nicht bedenklich. Dies gilt erst recht für Flugpassagiere, die ja der verhältnismäßig hohen Strahlung immer nur für Stunden ausgesetzt sind.

Für künftige «Raumfahrer» werden andere Strahlenquellen gefährlicher sein als die primäre kosmische Strahlung⁵:

⁵ KINNEY, Radiation Hazards in Space, Nuclear Safety Vol. 5, Nr. 1, 1963.

a) Die VAN ALLEN-Gürtel

Für den inneren VAN ALLEN-Gürtel, bestehend aus hochenergetischen (über 30 MeV) Protonen, wurden Dosisleistungen bis zu 20 Röntgen pro Stunde berechnet. Das Maximum dieses Gürtels liegt am Äquator auf etwa 3000 km über der Erde und nähert sich gegen die Pole zu der Erdatmosphäre.

Für den äußeren Gürtel, bestehend aus schnellen Elektronen (über 1,5 MeV) und langsamen Protonen, wurden Intensitäten bis zu 200 Röntgen pro Stunde berechnet. Sein Maximum liegt am Äquator auf etwa 18 000 km über der Erde, um sich ebenfalls gegen die Pole der Erde zu nähern.

Diese Gürtel können von Raumfahrzeugen besonders in Polnähe in kurzer Zeit durchstoßen werden, so daß auch sie für den «Ausstieg» in den Weltraum nicht prohibitiv wirken werden.

b) Solarausbrüche

Die gefährlichste und unberechenbarste radiologische Bedrohung von «Raumfahrern» dürfte in den relativ seltenen, intensiven Sonnenausbrüchen liegen, bei denen große Massen von Partikeln in ähnlicher Zusammensetzung wie bei der primären kosmischen Strahlung in den Raum geschleudert werden. Sie kommen durchschnittlich etwa einmal im Jahr vor und dauern nur Stunden oder Tage, erreichen aber eine Intensität bis zu 10 Teilchen pro cm^2 und Sekunde und Dosisleistungen bis zu 1000 Röntgen pro Stunde. Raumfahrer, die in einen solchen «Schauer» geraten, könnten also in kurzer Zeit tödlich bestrahlt werden (zu 50 % letale Dosis für den Menschen: etwa 500 Röntgen).

3. Die terrestrische Strahlung

Sie zeigt in unserm Lande eine sehr große Variabilität wegen des stark wechselnden Gehaltes der Grundgesteine an radioaktiven Beimengungen (Uran, Thorium und ihre Zerfallsprodukte, Kalium-40). Das Eidg. Gesundheitsamt führte 1961 (Mai bis Oktober) mit Hilfe eines vom Radiologischen Institut der Universität Freiburg i. Br. zur Verfügung gestellten besonderen Wagens Messungen der natürlichen Strahlung durch. Gemessen wurde die Gamma- und die durchdringende Betastrahlung in 50 cm Höhe über Naturboden, also derjenige Anteil der gesamten äuße-

ren Strahlung, der für die Gonadenbelastung in Frage kommt. Der Anteil der kosmischen Strahlung wurde (als Funktion der Höhe des Meßortes) vom gemessenen Wert abgezogen.

Die Ergebnisse⁶ zeigten, wie erwartet, auch bei geologisch gleichem oder ähnlichem Untergrund eine recht große Streuung. Es ließen sich aber doch eindeutig Zonen höherer und Zonen niedrigerer Strahlung feststellen (Tabelle 3).

Tabelle 3 *Mittlere terrestrische Strahlung in der Schweiz*

A. Gebiete relativ niedriger Strahlung:

	mr/Jahr
1. Jura und Jura-Nordfuß	68
2. Mittelland	70
3. Nördliche Kalkalpen	77

B. Gebiete relativ hoher Strahlung:

1. Nichtkristalline Gebiete der Ostalpen und der penninischen Alpen (VS, GR)	102
3. Kristalline Gebiete von GR, VS, Zentralschweiz	115
3. Tessin und Bergell	154

<i>Maxima:</i>	Arolla	280 (Feldspatreicher Gneis)
	Naters	450 (Uranhaltiger Biotitgneis)
	Capolago	700 (Quarzporphyr)

Die mittlere terrestrische Strahlung in 50 cm Höhe wurde aus diesen Werten unter Berücksichtigung der verschiedenen Bevölkerungsdichten auf 76,1 mr/Jahr berechnet.

4. Die gesamte äußere natürliche Strahlenbelastung

Alle bisher angegebenen Werte ergaben sich aus Messungen im Freien. Um die effektiv von der Bevölkerung empfangene Dosis zu erhalten, müssen Korrekturen für die mittlere Aufenthaltsdauer in Häusern angebracht werden. Diese können wie folgt angenommen werden:

für die Höhenkomponente	—20 %
für die terrestrische Komponente	+20 %

⁶ HALM, HERBST, MASTROCOLA, Messung des natürlichen Strahlenpegels in der Schweiz. Beilage B Nr. 6/1962 zum Bulletin des Eidg. Gesundheitsamtes.

Es ergeben sich folgende korrigierte Werte für die beiden Komponenten:

Höhenkomponente	38,4 — 7,7 oder rund	31 mr/Jahr
terrestrische Komponente	76,1 + 15,2 oder rund	91 mr/Jahr
mittlere Gesamtbelastung der Bevölkerung		<u>122 mr/Jahr</u>

II. Künstliche Strahlenbelastung und «höchstzulässige» Strahlendosis

1. Strahlenbelastung durch radioaktiven Ausfall («Fallout») von Atomexplosionen

Bis heute wurden rund 400 nukleare Bomben mit einem Energieäquivalent von insgesamt rund 500 Megatonnen (Mt) Trinitrotoluol (TNT) zu Versuchszwecken zur Explosion gebracht. Davon entfallen rund 200 Mt auf Spaltenergie (Fissionsenergie), rund 300 Mt auf Verschmelzungsenergie (Fusionsenergie).

Spaltbomben erzeugen hochradioaktive Rückstände, deren Aktivität pro Megatonne

1 Minute nach der Explosion	100 000 000 Megacurie
1 Stunde nach der Explosion	300 000 Megacurie
1 Tag nach der Explosion	17 000 Megacurie

beträgt.

Der größte Teil dieser Aktivität ist kurzlebig und klingt rasch ab. Von einer Stunde bis etwa 200 Tage nach der Explosion gilt angenähert die «Sieben-Zehn-Regel», welche besagt, daß nach einer Versiebenfachung der verstrichenen Zeit nach der Explosion die Radioaktivität auf einen Zehntel sinkt.

Da seit Ende 1962 keine nuklearen Explosionen mehr ausgelöst wurden (Explosionen in der Luft, auf der Erde und im Wasser sind jetzt durch das am 5. August 1963 unterzeichnete Moskauer Abkommen verboten), ist heute nur noch langlebige Aktivität in Luft, Regen, Boden, Nahrung usw. vorhanden. Die wichtigsten langlebigen Spaltprodukte

sind Strontium-90 mit einer Halbwertszeit von 28 Jahren und Cesium-137 mit einer Halbwertszeit von 33 Jahren. Diese beiden Nuklide lassen sich heute, wenn auch in sehr geringen Mengen, in jedem menschlichen und tierischen Körper auf der ganzen Erde nachweisen. Sie stammen ausschließlich von Atomexplosionen.

Tabelle 47 *Gehalt der Frischmilch an Strontium-90 in pc/l*⁸

	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	
Bern	2,0	2,4	8,0	14,0	14	15	10,8	9,6	16,2	16,0	35,8
Mürren	—	—	—	—	—	—	—	—	—	33,1	69,8
Bombenexplosionen						Pause		Explosionen		Pause	

Als Toleranzkonzentration für die Bevölkerung gilt eine Aktivität von 30 pc/l, falls das Strontium-Calcium-Verhältnis nicht berücksichtigt wird. Unter Berücksichtigung des Calciumgehaltes der Milch (welcher eine geringere Strontium-Resorption zur Folge hat) kann eine Toleranzkonzentration von 300 pc/l angenommen werden.

Durch Fusion von Wasserstoffkernen (Fusionsbomben) werden keine radioaktiven Spaltprodukte erzeugt, wenn man davon absieht, daß jede Fusionsbombe eine Spaltbombe als Zünder braucht. Es werden jedoch durch die H-Bomben große Mengen von radioaktivem Wasserstoff-3 (Tritium) ausgeworfen, und durch Neutronenaktivierung (n/p-Reaktion) wird aus Luftstickstoff radioaktiver Kohlenstoff-14 gebildet.

Der Tritium-Gehalt der Erdatmosphäre betrug vor 1952 (Explosion der ersten H-Bombe) 7—10 Tritium Units (TU), wobei eine TU einem Atom T auf 10^{18} Atome H entspricht. Im Jahre 1963 wurden in Heidelberg weit über 1000 TU gemessen. Die Toleranzkonzentration für die Bevölkerung beträgt 100 000 TU.

Der Gehalt der Erdatmosphäre an C-14 betrug vor 1900 etwa 2 Atome auf 10^{12} normale C-Atome. Bis 1954 war dieser Gehalt um etwa 4 % gesunken (wegen der Verbrennung von fossilem Kohlenstoff, der praktisch kein C-14 mehr enthält). Dieses Defizit wurde schon durch die ersten Wasserstoffbomben ausgeglichen: 1959—61 lag der Gehalt etwa 20 %, 1962 40 %, 1963 80 % über dem ursprünglichen Wert (Angaben des Deut-

⁷ 1.—6. Bericht der Eidg. Kommission zur Überwachung der Radioaktivität an den Bundesrat, erschienen als Beilagen zum Bulletin des Eidg. Gesundheitsamtes.

⁸ 1 pc = 1 Picocurie = 10^{-12} Curie.

schen Bundesministeriums für wissenschaftliche Forschung, Messungen in Heidelberg).

Auch diese Werte liegen zwar noch weit unter der Toleranzgrenze für den Menschen. Aber vielleicht liegt doch auf lange Sicht in der Zunahme des C-14-Gehaltes der Luft der gefährlichste Aspekt der Verseuchung der Erde durch nukleare Explosionen, da ja Kohlenstoff den Hauptbestandteil der lebenden Substanz, insbesondere auch der Genmoleküle, darstellt, und weil C-14 eine sehr lange Halbwertszeit (5600 Jahre) hat.

Bis heute können wir sagen, daß die Radioaktivität der Luft in Europa noch nie ein bedrohliches Ausmaß angenommen hat; es bleibt zu hoffen, daß das Moskauer Abkommen von den Unterzeichnern dauernd respektiert wird, und daß es mit der Zeit von allen Atommächten (Frankreich und China fehlen noch) unterzeichnet wird.

2. Beruflich strahlenexponierte Personen

Bei einem verhältnismäßig kleinen Anteil der Bevölkerung kommt zu der natürlichen und der «Fallout»-Strahlenbelastung, denen wir alle gleichermaßen ausgesetzt sind, noch eine berufliche Belastung mit ionisierenden Strahlen (Radiologen und andere Ärzte, Röntgenassistentinnen, Reaktorpersonal, Leuchtfarbearbeiterinnen u. a.). Die Zahl solcher Personen und damit auch die Belastung der Gesamtbevölkerung, deren Erbgut populationsgenetisch als gemeinsamer Besitz betrachtet werden muß, durch solche berufsbedingte Strahlenbelastung ist in stetigem Zunehmen begriffen. Diese Art der Strahlenbelastung läßt sich jedoch durch Strahlenschutzmaßnahmen auf ein Minimum reduzieren.

3. «Höchstzulässige Strahlendosen»

Strahlenschutz — und eine Gesetzgebung über den Strahlenschutz — ist daher ein dringendes Gebot unserer Zeit, mit dem sich seit einigen Jahren alle Länder und zahlreiche internationale Organisationen befassen.

Eine der Kardinalfragen ist dabei die Festlegung höchstzulässiger Bestrahlungen. Wo soll hier eine Grenze gesetzt werden?

Was die somatische Gefährdung anbetrifft, so könnte man einigermaßen großzügig sein, da erst Dosen von 100 r und mehr eindeutige

Strahlenschäden provozieren. (Von der Möglichkeit der Krebs- und Leukämieerzeugung durch kleinere Dosen sei hier vorerst nicht die Rede.) Aber schlimmer ist die Gefahr der Erbgutschädigung durch ionisierende Strahlen, deren allfällige Folgen nicht wir, sondern künftige Generationen zu tragen haben werden. Was dürfen wir dem menschlichen Erbgut — und das heißt nicht dem Erbgut des Einzelnen, sondern demjenigen der Gesamtheit einer Population — an zusätzlichen Mutationen zumuten, ohne daß dies fatale Folgen hat?

Hier ist der Hauptansatzpunkt der Überlegungen: nicht im somatischen, sondern im genetischen Bereich.

Populationsgenetiker, so MULLER, der Entdecker der Mutationsauslösung durch Röntgenstrahlen, rechnen aus, daß eine Verdoppelung der natürlichen Mutationshäufigkeit für eine Art unter natürlichen Bedingungen auf die Dauer untragbar wäre. Eine Erhöhung der Mutationshäufigkeit um $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{3}$ wird als tragbar angeschaut.

Man müßte also wissen, durch welche Strahlendosis dies bewirkt wird. Die experimentell ermittelten Werte über die Verdoppelungsdosis gehen weit auseinander: sie liegen zwischen 10 und 100 r pro Generation. Der heute wahrscheinlichste Wert liegt etwa bei 40 r.

An diesen Wert anschließend lassen sich die folgenden Überlegungen anstellen.

Tabelle 5 «Genetische Dosis»

	pro Generation
Verdoppelungsdosis für Mutationen	40 r (40 000 mr)
Zulässige «genetische Dosis»	$\frac{1}{4} = 10$ r (10 000 mr)
Davon «reserviert» für Medizin	$\frac{1}{2} = 5$ r (5 000 mr)
Bleiben für übrige künstliche Quellen	5 r (5 000 mr)

5 r wäre also, unter Ausklammerung der natürlichen und der medizinischen Strahlenbelastung, die zulässige genetische Bevölkerungsdosis, d. h. die Dosis, welche der Durchschnitt der Bevölkerung vor dem und während des Fortpflanzungsalters auf die Gonaden empfangen darf. Das ist ein recht kleiner Wert, etwa gleichviel wie die natürliche Strahlenbelastung.

Solange nun bei der großen Mehrheit der Bevölkerung die Strahlenexposition weit unter diesem zulässigen Wert bleibt, ist es für die Population unbedenklich, wenn einzelne Personen einer höheren Be-

lastung ausgesetzt sind, da das Erbgut der Population gewissermaßen einen gemeinsamen biologischen Besitz der Gesamtheit darstellt, der im Verlaufe der Generationen immer wieder durchmischt wird.

In der Annahme, daß die beruflich strahlenexponierten Personen wohl auch in der Zukunft nicht mehr als ein Prozent der Bevölkerung ausmachen, wird ihnen eine größere genetische Dosis zugemutet, und zwar pro Jahr gleichviel wie dem Durchschnitt der Population in einer Generation, d. h. in etwa 30 Jahren. Das sind 5 r pro Jahr, aber frühestens vom 19. Lebensjahr an.

Zwischen den beruflich strahlenexponierten Personen und der Gesamtbevölkerung werden noch zwei Kategorien «besonderer Bevölkerungsgruppen» unterschieden, welche aber auch nicht mehr als einige Prozent der Bevölkerung ausmachen.

Tabelle 6 *Höchstzulässige Strahlendosen*
(nach ICRP = International Commission on Radiological Protection)

	mr/Jahr	mr/30 Jahre
Gesamtbevölkerung	150	4 500
Besondere Bevölkerungsgruppe I	500	15 000
Besondere Bevölkerungsgruppe II	1500	45 000
Beruflich strahlenexponierte Personen vom 19. Jahr an	5000	60 000

III. Praktisches Beispiel: Reduktion der Strahlenbelastung bei Thoraxaufnahmen und Durchleuchtungen

Der Strahlenschutz in der Medizin hat immer zwei verschiedene Aspekte: denjenigen des Schutzes des Arztes oder des Hilfspersonals und denjenigen der möglichst geringen Belastung des Patienten. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf den Schutz des Patienten, das ist also Strahlenschutz für die Gesamtbevölkerung.

Unter den röntgendiagnostischen Untersuchungen stehen Thoraxuntersuchungen zahlenmäßig weitaus an erster Stelle. Nach den umfangreichen statistischen Erhebungen, welche Prof. SCHÄR am Eidg. Gesund-

heitsamt durchgeführt hat⁹, machen sie bei den 0—39jährigen 70 % aller Röntgenuntersuchungen aus. Ihr Anteil an der Strahlenbelastung der Gonaden, also an der «genetischen Dosis», beträgt aber nur 5 %, da die Gonaden nicht im Nutzstrahlenbündel liegen und nur einen Bruchteil in der Größenordnung von $\frac{1}{100}$ der Thoraxdosis erhalten.

Es ist aber bei der Beurteilung der medizinischen Strahlenbelastung heute notwendig, nicht nur die genetische Belastung im Auge zu halten, sondern auch die somatische im Nutzstrahlenfeld, und hier wiederum in allererster Linie die Belastung des blutbildenden Knochenmarks, das beim erwachsenen Menschen wie folgt verteilt ist:

Wirbel	40 %	} total 1300—1500 g
Brustbein und Rippen	25 %	
Becken	15 %	
Schädel	10 %	
übrige Knochen	10 %	

Es geht aus dieser Verteilung hervor, daß bei jeder Thoraxuntersuchung ein ganz erheblicher Teil des blutbildenden Marks im Nutzstrahlenkegel liegt. Bei normalen Aufnahmen, die die Wirbelsäule vom 5. Halswirbel bis zum 2. Lendenwirbel einbeziehen, sind es etwa 30 %.

Wenn wir weiter bedenken, daß Leukämien möglicherweise durch Mutationen am Erbgut somatischer Zellen ausgelöst werden können, also durch ein Phänomen, für dessen Auslösung durch Röntgenstrahlen nach unseren heutigen Kenntnissen kein Schwellenwert existiert, so sind wir verpflichtet, der Strahlenbelastung des Knochenmarks dieselbe Aufmerksamkeit zu schenken wie derjenigen der Gonaden. Bis zum Beweis des Gegenteils müssen wir jedenfalls annehmen, daß ein Teil der starken Zunahme der Leukämien, wie sie in den letzten Jahrzehnten überall beobachtet wurde (in der Schweiz von 1931 bis 1958 um 143 %), auf die medizinische Strahlenbelastung des Knochenmarks zurückzuführen ist. Jede mögliche Reduktion der Anzahl von Röntgenaufnahmen und ihrer Feldgröße sowie bei Durchleuchtungen von ihrer Dauer muß daher begrüßt werden. Diese Forderung bezieht sich ganz besonders auch auf die systematischen Reihenuntersuchungen bei Schülern, Studenten, Lehrern usw., deren Häufigkeit beim heutigen

⁹ SCHÄR, MINDER, ZUPPINGER, Die Belastung des Menschen durch ionisierende Strahlen, 2. Mitteilung: Umfang der Röntgendiagnostik in der Schweiz, «Praxis» 49, Nr. 32, 11. Aug. 1960.

Stand der Tb-Morbidität unter dem Gesichtswinkel des Strahlenschutzes neu überprüft werden muß.

Außer durch die Zahl der Aufnahmen kann eine Reduktion auch durch weitere Verbesserungen der Aufnahmetechnik erreicht werden. Eine besonders wichtige Möglichkeit analysierte in jüngster Zeit FRANZEN (Mainz)¹⁰. Er untersuchte die Verteilung des roten Knochenmarkes in dem bei einer Thoraxaufnahme von der Nutzstrahlung getroffenen Feld und stellte fest, daß fast $\frac{5}{6}$ davon in der dorsalen und nur $\frac{1}{6}$ in der ventralen Hälfte des Thorax liegen. Er ermittelte durch genaue Messungen die Belastung der verschiedenen Markanteile und kam zum Schlusse, daß die Volumendosis bzw. die Grammdosis, d. h. das integrierte Produkt aus Markgewicht und absorbiertes Dosis, um einen Faktor 3—4 reduziert werden kann, wenn die Aufnahme statt posterior-anterior (von hinten nach vorn) anterior-posterior (von vorn nach hinten) gemacht wird, so

bei einem Schirmbild von . . . 62 g.r (Gramm-Röntgen) auf 20 g.r

bei einer Großaufnahme von . . . 6 g.r auf 1,5 g.r

Man braucht also nur den Patienten umzudrehen.

Durch eine zusätzliche Vergrößerung des Fokus-Film-Abstandes von 80 cm auf 110 cm beim Schirmbild und von 150 cm auf 200 cm bei der Aufnahme erreicht er insgesamt eine Verminderung der Strahlenbelastung auf $\frac{1}{5}$.

Der medizinische Informationswert der Aufnahmen soll dabei genau derselbe sein. Es sollte daher in Zukunft von den p-a-Aufnahmen und Durchleuchtungen radikal auf a-p-Aufnahmen umgestellt werden, was bloß eine Umgewöhnung des Arztes erfordert.

¹⁰ FRANZEN, Die Strahlenexposition des Knochenmarks bei Thoraxaufnahmen unter Berücksichtigung der Zellmarkverteilung. Fortschr. auf dem Geb. der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin, Bd. 99/3, 1963.

IV. Grundprinzipien des Strahlenschutzes und gesetzliche Bestimmungen

Abschließend seien noch die wichtigsten Grundprinzipien des Strahlenschutzes beim Umgang mit ionisierenden Strahlen in Erinnerung gerufen:

- Abstand von der Strahlenquelle!
- Abschirmung!
- Expositionszeit!
- peinlichste Sauberkeit mit Isotopen!

Diese Forderungen können und müssen von verschiedenen Seiten her angegangen werden:

- Bauart der Apparate
- Abschirmung der Räume
- Anforderungen an die Einrichtung der Laboratorien
- Anforderungen bezüglich Arbeitstechnik
- Anforderungen bezüglich Ausbildung bzw. Sachkenntnis.

Diese Forderungen sind im Einzelnen umschrieben in der bisherigen eidgenössischen Strahlenschutzgesetzgebung:

- Bundesgesetz über die friedliche Verwendung der Atomenergie und den Strahlenschutz vom 23. Dezember 1959
- Verordnung des Bundesrates über den Strahlenschutz vom 19. April 1963
- Drei Verfügungen des Departementes des Innern vom 7. Oktober 1963:
 - a) Über den Strahlenschutz bei medizinischen Röntgenanlagen bis 300 kV
 - b) Über den Strahlenschutz bei Schuhdurchleuchtungsapparaten
 - c) Über die Radioaktivität von Leuchtzifferblättern.

Die gesetzlichen Bestimmungen suchen den vernünftigen Mittelweg zu finden zwischen den legitimen Ansprüchen der Medizin, der Industrie und der Forschung einerseits und dem Gebot des kleinstmöglichen Risikos andererseits. Am wichtigsten bei ihrer Durchführung sind guter Wille und gesunder Menschenverstand.