

W. Köhnlein, Münster:

### **Strahlenschutz: Schutz der Strahlen oder Schutz vor Strahlen?\***

In der deutschen Sprache wird das Wort „Schutz“ in Verbindung mit verschiedenen anderen Substantiven gebraucht. So kennen wir zum Beispiel den Umweltschutz, Mutterschutz, Pflanzenschutz, Artenschutz usw. In all diesen Fällen soll sich der Schutz auf den genannten Begriff erstrecken.

Bei anderen Kombinationen wie etwa Frostschutz, Sonnenschutz, Feuerschutz soll vor dem genannten Begriff geschützt werden.

Dann gibt es Kombinationen, die nur so zu verstehen sind, daß durch den genannten Begriff ein Schutz ermöglicht werden soll. Beispiele hierfür sind etwa Impfschutz, Geleitschutz, Polizeischutz., wobei man bei Polizeischutz ins Grübeln kommen kann.

(Siehe Tabelle)

<b>Wie wird der Begriff „Schutz“ in der deutschen Sprache gebraucht?</b>		
<b>Schutz des genannten</b>	<b>Schutz vor dem genannten</b>	<b>Schutz durch den genannten</b>

---

\* Vortrag im Interdisziplinären Seminar des WS 96/97 der Philipps-Universität Marburg am 02.12.1996

<b>Begriffes</b>	<b>Begriff</b>	<b>Begriff</b>
Umweltschutz	Forstschutz	Impfschutz
Tierschutz	Sonnenschutz	Begleitschutz
Mitterschutz	Hochwasserschutz	Polizeischutz?
Pflanzenschutz	Windschutz	
Artenschutz	Feuerschutz	
Strahlenschutz?		

In welche der genannten Kategorien ist nun der Begriff „Strahlenschutz“ einzuordnen. Der etwas pointierte Titel meines Vortrags deutet ja schon an, daß es mindestens zwei Möglichkeiten gibt.

Um eine Antwort auf diese Frage zu finden, müssen wir uns mit dem administrativ organisierten nationalen und internationalen Strahlenschutz beschäftigen. Und so lautet auch der seriösere Titel meines Vortrags:

**Der administrativ organisierte nationale und internationale Strahlenschutz: Die ICRP und die SSK - ihre Aktivitäten und Empfehlungen**

Der administrativ organisierte nationale und internationale Strahlenschutz: Die ICRP  
und die SSK - ihre Aktivitäten und Empfehlungen

Beim Umgang mit Gefahrstoffen ist die Festsetzung von zulässigen Grenzwerten von großer Bedeutung. Das gilt natürlich auch für ionisierende Strahlung und Radionuklide und damit auch für den Gesamtkomplex der zivilen und militärischen Einsatz nuklearer Energie einerseits und der Verwendung von Strahlung und Radionukliden in Medizin, Technik und Wissenschaft andererseits.

Die Frage nach der Größe und Akzeptanz des Strahlenrisikos am Arbeitsplatz und in der Umwelt ist Gegenstand einer heftigen wissenschaftlichen und teilweise auch öffentlich politischen Auseinandersetzung, die lange vor der Entwicklung der Atombombe und der Nuklearindustrie begann<sup>1</sup>.

So entstanden die ersten Strahlenschutzbestimmungen aufgrund öffentlichen Aufsehens, das der Tod vieler früher Pioniere des Strahlenzeitalters hervorrief. Es waren prominente Radiologen und Kliniker darunter, die mit Röntgenanlagen und Radiumquellen gearbeitet hatten<sup>2</sup>. In der jüngeren Vergangenheit hat sich die Kontroverse hauptsächlich an der Frage entzündet, welchem Risiko die beruflich Strahlenexponierten ausgesetzt sind, und wie groß das Risiko für die allgemeine Bevölkerung ist, das aus den Radioaktivitätsabgaben der Nuklearindustrie an die Umwelt resultiert.

Auf dem Gebiet des Strahlenschutzes hat eine einzige Expertenorganisation einen besonders großen Einfluß auf die Formulie-

zung von Strahlenschutzbestimmungen. Diese Organisation ist die International Commission on Radiological Protection (ICRP). Ihre Empfehlungen sind die Grundlage für die nationalen Strahlenschutzgesetzgebungen. Öffentliche Besorgnis über Strahlenbelastung aus der Nuklearindustrie wird von den Regierungen, Behörden und der verursachenden Industrie selbst meist als irrational und unwissenschaftlich abgetan. Dabei dienen die Empfehlungen der ICRP als Rechtfertigung<sup>3</sup>.

Zum Thema ICRP und ihre Aktivitäten sind von verschiedenen Seiten Abhandlungen verfaßt worden. Insbesondere haben sich auch Mitglieder der ICRP selbst dazu wiederholt geäußert, teilweise sehr kritisch wie etwa Karl Morgan<sup>4,5</sup>, teilweise eher beschönigend und rechtfertigend wie etwa Roger Berry<sup>1</sup> oder Lauriston Taylor<sup>6,7</sup>, um nur einige zu nennen. Das Verhalten und die Empfehlungen der ICRP wurden natürlich auch von Strahlenschutzexperten, die der ICRP nicht angehören, kritisch kommentiert und hinterfragt. Hier sind beispielsweise Wissenschaftler wie John Gofman<sup>8,9</sup>, Alice Stewart<sup>10,11,12</sup>, Patrick Green<sup>2</sup>, Roland Scholz<sup>13</sup>, Mario Schmidt<sup>14</sup> und viele andere zu nennen.

Wer ist diese ICRP?

Die ICRP ist eine einmalige Organisation. Es gibt keine vergleichbare Einrichtung für die Regulierung von anderen Gefahrenstoffen am Arbeitsplatz und in der Umwelt<sup>15</sup>.

Die ICRP besteht aus 13 Wissenschaftlern. Sie ist keine regierungsamtliche Organisation und wird weithin als die höchste Autorität auf dem Gebiet des Strahlenschutzes betrachtet.

Der Vorläufer der ICRP wurde bereits 1928 auf dem 2.

Internationalen Radiologie-Kongreß unter dem Namen "International X-ray and Radium Protection Committee" (IXRPC) gegründet. Das Komitee bestand aus 7 Wissenschaftlern und war bis 1937 tätig. Es beschäftigte sich mit der Formulierung von Empfehlungen zum Schutz vor ionisierender Strahlung. Hauptaugenmerk war der Strahlenschutz für Radiologen und ihre Mitarbeiter.

Während des 2. Weltkriegs stellte das IXRPC-Komitee seine Aktivitäten ein und wurde erst 1950 nun unter dem Namen ICRP (International Commission on Radiological Protection) reorganisiert.

In den Jahren 1942 bis 1950 wurde sehr intensiv geforscht und es wurden viele Dokumente über die ionisierende Strahlung und ihre Wirkung verfaßt. Die Autoren waren hauptsächlich Strahlenbiologen und Gesundheitsphysiker, die im Rahmen der Kernwaffenentwicklung an den Forschungszentren in Harwell (England), Chalkriver (Kanada) und den entsprechenden Einrichtungen in den USA (Oak Ridge, Los Alamos, Hanford etc.) tätig waren. Ihre Arbeiten und Ergebnisse galten als Verschlusssache. Damals war das Wissen über die Wirkung ionisierender Strahlung und über die Aufnahmen und den Verbleib von Radioisotopen im menschlichen Körper fast ausschließlich in den genannten Instituten gewonnen worden. So verwundert es nicht, daß bei der Reorganisation der ICRP und ihrer Arbeitskomitees hauptsächlich Experten aus diesen Einrichtungen ausgewählt und durch Radiologen auch aus anderen Ländern ergänzt wurden.

Über die Jahre hat die ICRP als Hauptinformationsquelle zum Strahlenrisiko gedient und seit 1950 gibt sie ausführliche Empfehlungen zum Strahlenschutz heraus. Sie übernimmt allerdings keine Verantwortung für die praktische Umsetzung ihrer Empfehlungen in der nationalen Strahlenschutzgesetzgebung.

Die ICRP behauptet von sich selbst, aus hochrangigen Experten zu bestehen, die unabhängig von kommerziellen und politischen Interessen sind.

Die Kommission besteht aus 13 Personen, ausschließlich Männern. Noch nie wurde eine Ärztin oder Wissenschaftlerin aufgenommen.

Da neue Mitglieder nur durch die ICRP selbst ernannt werden, ergab sich im Laufe der Zeit eine Beschränkung der Denkweise, die in erster Linie sich an den Erfordernissen der Kerntechnologie und der Radiologie orientiert.

Auch die Mitglieder der verschiedenen Unterkomitees werden von den 13 "Gralshütern" der ICRP ausgewählt.

Alle Mitglieder der ICRP und viele Mitglieder der Unterkomitees sind gleichzeitig in ihren Heimatländern Angehörige der offiziellen Strahlenschutzgremien. Das führte dazu, daß selbst ICRP-Mitglieder wie J. Dunster, Leiter des britischen "National Radiation Protection Board", von einem gewissen Maß an Inzest sprechen<sup>16</sup>. Interessenkonflikte sind unvermeidbar und K. Morgan, ebenfalls langjähriges ICRP-Mitglied, schreibt, daß sich die Interessenkonflikte wie eine virulente Seuche ausgebreitet haben<sup>17</sup>.

Trotz ihrer hohen Selbsteinschätzung und großen Reputation haben die Empfehlungen der ICRP in den zurückliegenden 40 Jahren den Ausgangspunkt vieler bitterer Kontroversen gebildet. Eine Erklärung dafür liegt in der Struktur der ICRP selbst. Sie ist eben keine unabhängige Organisation. Die ICRP ist nichts weiter als ein exklusiver Club, der nur einer kleinen Gruppe von Individuen offen steht. Die ICRP-Mitglieder werden fast ausschließlich aus dem Bereich der internationalen

Nuklearindustrie und ihren Kontrollbehörden, aber auch aus den medizinischen Berufen, die ionisierende Strahlung benutzen, ausgewählt.

Die dienstältesten Kommissionsmitglieder, die also auch die Politik der ICRP am stärksten beeinflußt haben, kommen aus der Nuklearindustrie. Insgesamt sind die Physiker in der ICRP überrepräsentiert, Genetiker, Pathologen und Biophysiker dagegen stark unterrepräsentiert<sup>18</sup>. Die Empfehlungen der ICRP spiegeln sehr deutlich die Interessen der Nuklearindustrie wieder. Grenzwerte und Standards wurden danach ausgewählt, was die Industrie mit vertretbarem Aufwand erreichen kann.

So heißt es 1966 in der ICRP-Publikation Nr. 9: Der 5 rem/Jahr-Grenzwert für Strahlenarbeiter wurde beibehalten, weil die Kommission glaubt, daß dieser Grenzwert der sich expandierenden Atomenergie einen ausreichenden Spielraum für absehbare Zeit gewährt<sup>19</sup>. Dieser Dosisgrenzwert wurde ursprünglich 1959 eingeführt und ist im wesentlichen auch heute noch in Gebrauch.

Im Laufe ihrer Geschichte hat sich die ICRP immer sehr schwer getan, neue wissenschaftliche Erkenntnisse über das Strahlenrisiko mit zum Teil bis zu 10 mal höheren Risikofaktoren anzuerkennen und ihre Empfehlungen zu novellieren. Sie hat sich dagegen nicht gescheut, Wissenschaftler, die sich aufgrund unabhängiger Analysen der verfügbaren Daten gegen die offizielle propagierte Risikoabschätzung ausgesprochen haben, aus der Wissenschaftlergemeinschaft auszuschließen. Kritische Wissenschaftler waren einer bisher nicht dagewesenen persönlichen Verunglimpfung ausgesetzt. Sie wurden nicht länger finanziell unterstützt und ihre Befunde in den Fachzeitschriften nicht mehr publiziert, wenn die Resultate der offiziellen Lehrmeinung widersprachen.

L. Taylor, der Mitbegründer der ICRP hat sich hier besonders hervorgetan. Er verurteilte Abweichler zu "Pseudo-Wissenschaftlern" und bezeichnete sie als Scharlatane und wissenschaftliche Landstreicher<sup>20</sup>. Von Edward Radford, dem ehemaligen Vorsitzenden des BEIR-III-Komitees (1980) und Professor für Epidemiologie an der Universität von Pittsburgh, dessen Strahlenrisikoschätzungen höher sind als die der ICRP, sagt Taylor unmißverständlich: Radford gehört nicht zur Strahlenschutzgemeinde<sup>16</sup>.

Kritik oder abweichende Schlußfolgerungen aus Untersuchungen zu veröffentlichen, ist das provozierendste, was ein Wissenschaftler tun kann. Meinungsvielfalt schwächt Gremien wie die ICRP, deren Ansehen sich aus ihrem Anspruch herleitet, den Konsens der Wissenschaft zu repräsentieren. Diese festgefügtten Interessengruppen neigen in der Tat zu der Unterstellung, das Abweichen von der Mehrheitsmeinung sei als solches schon Beweis für wissenschaftliche Inkompetenz. "Das geschieht ganz automatisch", bemerkt der Biologe R. Blackith aus Dublin. "Wenn Du die ICRP kritisierst, schließt man Dich aus den Reihen ernstzunehmender Wissenschaftler aus"<sup>18</sup>.

Das rüde Verhalten gegenüber Kritikern ging selbst dem zweiten Vorsitzenden der ICRP, Bo Lindel, zu weit, und er schreibt 1971 in einem nachdenklichen Brief an die ICRP-Mitglieder:

*"Wir reagieren wie Aufziehpuppen oder wie Insekten, denen man einen Stimulus für Aggressionsverhalten gezeigt hat, wenn wir mit Äußerungen oder Vorstellungen konfrontiert werden, die nicht mit der geltenden Lehrmeinung übereinstimmen. Sollten wir nicht eher neugierig und dankbar sein? .... Die Medien in den USA und in aller Welt berichten über eine Debatte, die von unbedeutenden Personen angestoßen und nun von Leuten wie Sternglass, Gofman und Tamplin hartnäckig weitergeführt wurde. In den*



*Unterlagen der ICRP sind diese Leute so gut wie unbekannt, und wir haben auf eine sehr hochnäsige und törichte Art reagiert.... Wer sind wir denn, daß wir es uns leisten können, das aus unserer hochmütigen Arroganz zu belächeln.... Für einen Außenstehenden sieht das nach einer gut geschützten Mafia mit großen Machtinteressen aus, die handelt, ohne sich irgendeiner öffentlichen Untersuchung oder Kritik aussetzen zu müssen"<sup>16</sup>.*

#### Die doppelte Natur der ICRP-Empfehlungen

Bei der Festsetzung von Ausführungsbestimmungen für den Umgang mit einem Gefahrenstoff müssen zwei unterschiedliche Prozesse beachtet werden. Zunächst muß mit wissenschaftlichen Methoden die in Frage stehende Gefahr quantifiziert werden. Der Umgang der Gesellschaft mit dieser Gefahr kommt als zweites hinzu. In vielen zu kontrollierenden Bereichen ist es schwierig, die wissenschaftlichen Risikobetrachtungen von den gesellschaftlichen Aspekten der Ausführungsbestimmungen zu trennen. Und somit verschwimmen die Grenzen zwischen wissenschaftlicher und gesellschaftlicher Beurteilung.

Die grundlegende Ungenauigkeit statistischer wissenschaftlicher Ausgangsinformationen und die abweichenden Beurteilungen der Wissenschaftler bei der Interpretation der Daten vergrößern die allgemeine Unsicherheit. Dies wird zwar als wissenschaftliches Problem betrachtet, aber das abschließende Urteil wird oft durch nichtwissenschaftliche Argumente bestimmt. Andererseits werden oft gesellschaftliche

Bewertungen über die Annehmbarkeit von Risiken irreführenderweise in wissenschaftlichen Denkmustern und in wissenschaftlichem Jargon geführt.

Die Strahlenkontroverse befaßt sich nicht nur mit Konflikten über die wissenschaftliche Einschätzung des Risikos nach Strahlenexposition, sondern sie beschäftigt sich auch mit ethischen Fragen bei der Bewertung der Akzeptanz dieses Risikos. Die ICRP maßt sich nicht nur ein Urteil über die wissenschaftliche Einschätzung an, sondern entscheidet auch, wie groß ein akzeptables Risiko für Nukleararbeiter oder die Bevölkerung sein darf, ohne die Betroffenen zu konsultieren.

Die ICRP erläßt also Empfehlungen über die wissenschaftliche Quantifizierung einer Gefahr und gleichzeitig über den gesellschaftlichen Umgang mit dieser Gefahr. Ihre Empfehlungen werden aber dem Publikum und den Politikern als rein wissenschaftlich ermittelte Größen dargestellt<sup>21</sup>.

#### Der offizielle Standpunkt der ICRP Empfehlungen

Das Gründungsmitglied der ICRP, Lauriston Taylor, denkt, daß die ICRP-Philosophie darauf beruht, daß es bei den am Arbeitsplatz und in der Umwelt vorkommenden Strahlenbelastungen keinen direkten Beweis für eine Schädigung gibt und führt dazu aus:

"Wir müssen immer noch eine zulässige Dosis zahlenmäßig bestimmen, die auf irgendeinem tatsächlichen oder auch nur statistisch nachweisbaren Schaden beruht. Unser heutiges System der zulässigen Dosen beruht auf unserer Unfähigkeit, irgendwelche Schädigungen oder andere

Effekte bei den seit 1934 favorisierten zulässigen Dosen zu beobachten"<sup>22</sup>.

Die Folge von solchen Äußerungen ist, daß man glaubt, die Sicherheitsstandards seien übervorsichtig und würden dem Gesundheitsschutz den größten Stellenwert beimessen.

Andere Mitglieder der ICRP weisen immer wieder darauf hin, daß die Strahlenschutz-Standards schrittweise anhand der sich ändernden wissenschaftlichen Erkenntnisse entwickelt würden.

So wird in zwei neueren Arbeiten über die ICRP die Entwicklung der Dosisgrenzwerte mit dem besseren Verständnis der biologischen Strahlenwirkung korreliert. Dabei bleiben aber gesellschaftliche Aspekte unberücksichtigt<sup>23, 24</sup>.

Manche Autoren behandeln zwar soziologische Gesichtspunkte, aber eben nur im Zusammenhang mit der Anwendung radiologischer Sicherheitsbestimmungen in der Praxis. Hier beschränken sich die gesellschaftlichen Überlegungen auf Kosten/Nutzen-Analysen. Dabei wird ermittelt, welche Kosten für eine Reduktion der Exposition innerhalb der Dosisgrenzen gerechtfertigt sind.

Das ehemalige ICRP-Mitglied Edward Pochin schlägt sogar vor, die Methoden, die zur Regulierung des Umgangs mit ionisierender Strahlung entwickelt wurden, auch auf den Umgang mit anderen karzinogenen Schadstoffen zu übertragen<sup>25</sup>.

Immer wieder werden die ICRP-Empfehlungen als besonders vorsichtig und beispielhaft dargestellt, wobei der Schutz der Gesundheit angeblich das wichtigste Leitmotiv sei. Diese Darstellung hält aber einer kritischen Analyse der Entwicklung der ICRP-Empfehlungen nicht stand.

### Vom physikalischen Strahlenschutz zur biologischen Toleranz

Vor 1938 war Strahlenschutz hauptsächlich eine Angelegenheit der medizinischen Berufe. Erste Schritte zur Formulierung von Sicherheitsempfehlungen wurden von Landesorganisationen in Deutschland 1913 und in Großbritannien 1915 unternommen.

Dabei wurde recht allgemein vor zu hohen Expositionen gewarnt. Diese Empfehlungen wurden immerhin 15 Jahre nach den ersten Berichten über die schädliche Wirkung ionisierender Strahlung publiziert.

Die Ärzteschaft hat diese Sicherheitsempfehlungen zunächst nur sehr zögernd aufgenommen. Das änderte sich aber nach dem vorzeitigen Tod mehrerer bekannter Ärzte und Radiologen. Diese Todesfälle hatten erhebliches Aufsehen erregt und führten zur Bildung von Sicherheitsausschüssen in mehreren Ländern.

Das erste Komitee wurde 1921 in England gebildet und bestand aus Ärzten, Radiologen und Physikern. Biologen waren damals nicht einbezogen worden.

So waren es hauptsächlich Physiker und Radiologen, die die Inhalte der frühen Schutznormen bestimmten. Es handelte sich überwiegend um physikalischen Strahlenschutz. Man war wegen des begrenzten technischen Erkenntnisstandes zu einer solchen Vorgehensweise gezwungen.

Der Strahlenschutzgedanke, der den Empfehlungen dieser Expertengruppe zugrunde lag, war ein Kompromiß zwischen dem

notwendigen Schutz für das Bedienungspersonal und den Kosten, die für die Abschirmung anfallen. Schon damals wußte man, daß ein vollkommener Schutz nicht zu erreichen sei.

Die geringe Strahlungsintensität, die den Betreiber einer Röntgenanlage trotz Abschirmung noch erreicht, hielten Physiker und Ärzte ebenfalls für harmlos. Mit der Abschirmung wollte man das Auftreten von akuten und sichtbaren Strahlenschäden wie Hautrötung vermeiden; Effekte, die mit den damals verfügbaren klinischen Methoden untersucht und beobachtet werden konnten. Aber ohne genaue Kenntnis aller biologischen Effekte war es den Physikern und Radiologen nicht möglich, eine Aussage über die Effektivität physikalischer Schutzmaßnahmen zu machen.

Die Meinung über den Grad der Sicherheit war zweifellos auch durch die Art des Umgangs mit Strahlung beeinflusst. Das tatsächliche Risiko war im wesentlichen unbekannt, während der Nutzen aus der medizinischen Anwendung der Strahlung viel leichter erkennbar war. Außerdem war ein erhebliches berufliches Prestige mit dem neuen sich gerade entwickelnden Gebiet der medizinischen Radiologie verbunden. So übertrafen der spürbare Nutzen in der Krankenversorgung und das berufliche Ansehen bei weitem die unsichtbaren Risiken.

Es gab damals auch deutliche nationale Unterschiede in der Frage, wie die ersten Empfehlungen durchgesetzt werden sollten. Für Briten und Amerikaner war die freiwillige Befolgung der Empfehlungen wichtig. Die skandinavischen Schutzkomitees empfahlen gesetzliche Vorschriften für den Umgang mit Röntgenanlagen. Dieser Unterschied sollte von entscheidender Bedeutung für die Entwicklung internationaler

Schutzvorschriften werden.

Die ersten internationalen Empfehlungen basierten auf englischen Vorschlägen und beschränkten sich ausschließlich auf Arbeitsbedingungen und Abschirmung bei Röntgenanalysen. Das Ziel war Schutz, um sichtbare Strahlenschäden zu vermeiden. Langzeitschäden oder Toleranzdosen fanden keine Erwähnung.

Das Konzept der Toleranzdosen wurde erst Mitte der 20er Jahre entwickelt, als man versuchte, die Sicherheits-Standards in biologischen Einheiten der Schädigung auszudrücken.

Dieser Übergang von der physikalischen Abschirmung zur Betrachtung biologischer Strahleneffekte war aber nur möglich, so lange man sich nur sehr kurzsichtig auf eine Art der Schädigung beschränkte. So wurde die Hautrötungsdosis als Einheit gewählt. Es ist die Dosis, die eine akute Rötung der Haut hervorruft. Dieser Effekt war sichtbar und leicht meßbar. Maßgeblich an dieser Entwicklung war der amerikanische Wissenschaftler Mutscheller beteiligt, der auch davon überzeugt war, daß vollkommener Schutz vor Strahlung nicht möglich sei. Er bemühte sich auch herauszufinden, welche Dosis der menschliche Körper aushält<sup>26</sup>. An diesem Problem arbeiteten in den späten 20er Jahren mehrere Wissenschaftler. Sie kamen hauptsächlich durch Abschätzungen zu vergleichbaren Werten. Die ICRP übernahm dann 1934 einen Wert von 0,2 R pro Arbeitstag als Toleranzdosis. Das entspricht etwa einer Jahresdosis von 500 mSv.

### Erste Hinweise auf die genetische Wirkung der Strahlung

Bereits Ende der 20er Jahre hatte man schon beachtliche Erkenntnisse über die biologische Strahlenwirkung. Der amerikanische Genetiker und Nobelpreisträger H. J. Muller konnte 1927 den Nachweis führen, daß Röntgenstrahlen das genetische Material schädigen und verändern. Trotzdem wurden in den 1937 veröffentlichten Empfehlungen der IXRPC nur die akuten Strahleneffekte berücksichtigt. Das Risiko der Krebsinduktion oder der genetischen Schädigung wurde nicht angesprochen. Schwedische nationale Behörden warnten jedoch bereits Mitte der 20er Jahre vor den Langzeitfolgen.

Erste Diskussionen über die Relevanz der Genetik fanden erst 1940 im amerikanischen Strahlenschutz-Komitee statt. Dabei wurde auch der Vorschlag gemacht, die Toleranzdosis um den Faktor 10 auf etwa 50 mSv pro Jahr zu reduzieren.

Dieser Vorschlag wurde aber verworfen, und der Wert der Toleranzdosis blieb bei 500 mSv. Die Mitglieder des Komitees behaupteten, daß der neue Grenzwert zu ernsthaften Einschränkungen beim medizinischen Gebrauch der Röntgenstrahlung führen würde. Bei der Ableitung der Toleranzgrenzen spielte also die praktische Anwendbarkeit eine wesentliche Rolle. Die Darstellung von der "biologischen Toleranz" war jedoch durch die neuen Hinweise auf biologische Schäden infrage gestellt.

Daraufhin wurde vorgeschlagen, die Toleranzdosis in "zulässige Dosis" umzubenennen. Dieser neue Begriff räumt ein, daß es eine biologische Toleranz nicht gibt und impliziert stillschweigend, daß ein gewisses Maß an genetischer Schädigung tolerierbar sei. Schon damals haben Wissenschaftler, die keine Mitglieder der Gutachter-Kommission waren, hinterfragt, warum die Toleranzdosen nicht herabgesetzt

wurden.

#### Die ICRP und die Entwicklung der Nuklearindustrie

Nach 1945 wurde der Wert der Toleranzdosis von den amerikanischen und englischen Schutzkomitees erneut überprüft. Eine ganz wichtige Frage, auf die eine Antwort gefunden werden mußte, war, inwieweit die Sicherheitsnormen den biologischen Kenntnisstand über Strahlenwirkungen berücksichtigen sollten.

Man wußte damals natürlich schon, daß ionisierende Strahlung im exponierten Individuum Krebs erzeugen und zu genetischen Veränderungen in zukünftigen Generationen führen kann.

Die früheren Sicherheitsnormen, die lediglich akute Strahleneffekte vermeiden sollten, waren nicht mehr ausreichend.

Wissenschaftler aus den USA und England waren ganz wesentlich an der Neuformulierung der Grenzwerte beteiligt.

Die Normen, die in ihren Ländern entwickelt wurden, basierten aber nicht nur auf wissenschaftlicher Erkenntnis. Gesellschaftliche Bewertungen durch die Wissenschaftler in den Schutzkommissionen waren genau so wichtig. Bereits 1945 stellten einige Wissenschaftler fest, daß es keine ungefährliche Dosis gibt. Jede noch so kleine Strahlenbelastung einer Gruppe von Personen produziert bleibende Schäden. Das wurde aber bis 1965 von der ICRP nicht öffentlich anerkannt (und wird heute wieder in Frage gestellt).



Die wissenschaftlichen Beweise für die Gefährlichkeit der Strahlung mußten gegen die praktischen Erfordernisse der jungen Nuklearindustrie unter dem Druck der anlaufenden atomaren Rüstungsspirale abgewogen werden. Ein bestimmtes Maß an gesundheitlichen Schäden war unvermeidbar. Doch wie groß durfte die Schädigung sein? Diese Frage spaltete die Wissenschaftler in zwei Lager. Die Physiker hielten im allgemeinen höhere Risiken als die Biologen für zumutbar.

Dennoch fanden die Vertreter der unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen zu der gemeinsamen Auffassung, daß die praktischen Erfordernisse der neuen Nuklearindustrie von allergrößter Bedeutung für die Ableitung der Toleranzdosen seien.

Wissenschaftler, die diese Überzeugung teilten, wurden bevorzugt in die nationalen und internationalen Expertenkommissionen berufen.

Ob die vermeintlichen Vorteile der Nukleartechnologien die Risiken der Nukleararbeiter und der Gesellschaft als Ganzes rechtfertigten, war in den amerikanischen und englischen Expertengremien kein Thema.

Wie stark gegenteilige Meinungen unterdrückt wurden, zeigt die Art und Weise wie die Atomenergie-Kommission der USA (AEC) mit mißliebigen Wissenschaftlern umging. Als im Jahr 1955 die große UNO-Konferenz "Peaceful Uses of the Atom", vorbereitet wurde, hatte der Nobelpreisträger Hermann J. Muller einen Beitrag über die weltweiten Auswirkungen des Fallout aus den sich häufenden Atombombenversuchen angemeldet. Dieser wurde aber nicht zugelassen. Das hat zu einer gewaltigen Presse Kampagne gegen die Ausgrenzung unabhängiger Wissenschaftler geführt, die aber nichts bewirkte. Reporter der Washington

Post haben damals herausgefunden, daß die AEC und ihr Chairman Lewis Strauss für die Unterdrückung unpopulärer Meinungen verantwortlich waren.

In den Komitees wurde zunächst diskutiert, ob die Sicherheitsnormen sich an der Frage, was ist sicher oder was ist für die Industrie praktikabel, orientieren sollten.

Die Mitglieder der Strahlenschutzkommissionen gingen unterschiedlich bei der Nachprüfung der biologischen Grundlagen der Toleranzdosen vor.

Die Biologen waren besonders besorgt über das Risiko genetischer Schädigung zukünftiger Generationen. Im allgemeinen teilten die zahlenmäßig stärker vertretenen Physiker diese Besorgnis nicht und setzten sich mit ihren Auffassungen durch.

Als Folge davon wurden die genetischen Risiken bei der Festlegung der maximal zulässigen Dosen für beruflich strahlenexponierte Personen ignoriert.

Es ist sehr interessant, die Gutachten und Stellungnahmen der damaligen Mitglieder der Expertenkommission nachzulesen. Diese Dokumente wurden 30 Jahre lang als Verschlusssache eingestuft und erst vor wenigen Jahren zugänglich.

Bereits 1947 schreibt D. G. Catcheside, Mitglied im Ausschuß für medizinische und biologische Anwendungen der Kernphysik

des "Medical Research Council" und später auch Mitglied der ICRP, zur Frage ..... Schwellenwerte:

*"Alle quantitativen Experimente zeigen, daß selbst die kleinsten Strahlendosen genetische Effekte hervorrufen. Es gibt keine Schwellendosen, unterhalb denen keine genetischen Effekte induziert werden .... Die Strahleneffekte sind kumulativ, teilweise findet man lineare, teilweise linear quadratische Dosisabhängigkeiten. Selbst bei kleinen Dosisraten sind die Effekte offenbar additiv ...."*

*"Es ist sehr wahrscheinlich, daß die Mutationsrate, die man bei niederen Pflanzen und Tieren gefunden hat, auch für die Mutationsinduktion beim Menschen gelten."<sup>27</sup>*

Kurze Zeit darauf hat D. E. Lea allen Mitgliedern des für die Toleranzdosis zuständigen Ausschusses ein Memorandum als Antwort auf Catchesides Gutachten zukommen lassen. Darin führt er unter anderem aus:

*"Es wird keine Methoden geben, mit denen nachgewiesen werden könnte, ob die Abnormalitäten bei einem Kind eines Nukleararbeiters auf die berufliche Exposition des Vaters zurückzuführen ist; deshalb kann es auch keine Frage der Haftung und keine Ansprüche auf Kompensation geben."<sup>28</sup>*

Zu Catchesides Beobachtung über vererbte Semi sterilität wiederholt Lea seine Bemerkung:

*"Es wird nicht möglich sein nachzuweisen, ob der Effekt in irgend einem bestimmten Fall strahlenbedingt ist."*

*Fragen nach Haftung und Kompensation können also nicht auftreten. "*

Lea beendet sein Memorandum mit der Bemerkung:

*"So lange nur weniger als 1% der Population strahlenexponiert ist, wird man sehr wahrscheinlich auch keine Zunahme von Erbkrankheiten feststellen. "<sup>28</sup>*

Während Lea die Beobachtungen von Catcheside akzeptiert, nämlich daß es keine ungefährliche Dosis gibt, spricht er sich dennoch nicht für eine Verschärfung der Normen aus. Er nimmt die mögliche genetische Schädigung der Kinder exponierter Personen in Kauf. Offensichtlich war die Frage nach einer möglichen Haftung für ihn von größerer Bedeutung als die genetische Schädigung der Kinder von Strahlenarbeitern.

In einem späteren Protokoll einer Sitzung, bei der auch Mitglieder der ICRP zugegen waren, lesen wir: "Gegenwärtig wird davon ausgegangen, daß die genetischen Effekte der Strahlung nicht der limitierende Faktor sind".

In die ICRP Empfehlungen von 1950 wurden die Ergebnisse des Gutachtens von Catcheside, daß es keine ungefährliche Dosis gibt, nicht aufgenommen. Die Beweise für genetische Schäden - selbst nach kleinen Dosen - wurden einfach übersehen, um die sich entwickelnden militärischen und zivilen Nuklearprogramme nicht zu behindern.

Die Frage nach der Haftung und Kompensationsansprüchen war damals besonders relevant, wenn man an die Aktionen der Regierungen mit militärischen Atomprogrammen denkt, als bei vielen Atombombentests Soldaten und Zivilisten zugegen waren und strahlenbelastet wurden.

Wo wissenschaftliche Unsicherheit über ein Risiko bestand, lag die Beweislast auf der positiven Identifikation der Schädigung. Die Vorteile aus der wissenschaftlichen Unsicherheit wurden von der ICRP auf die übertragen, die das Risiko erzeugten und nicht auf die, die es zu ertragen hatten.

Lauriston Taylor, der Mitbegründer der ICRP, der in den späten 40er Jahren als Industrieberater tätig war, hat die Sicherheitsphilosophie der Stahlschutzgremien stark geprägt. Eines seiner Argumente war, daß wissenschaftliche Unkenntnis und Unsicherheit die Entwicklung einer Industrie nicht beeinträchtigen darf. Er vertrat weiter die Auffassung, daß der Nachweis von Schädigungen nur durch Opfer unter den Strahlenerarbeitern erbracht werden kann. So sagt er unter anderem:

*"Ich sehe keine Alternative, als anzunehmen, daß eine Tätigkeit bis zum Beweis des Gegenteils sicher ist. Wir akzeptieren, daß es Opfer bedarf, um unsichere Betriebsbedingungen zu erkennen. Das scheint nicht fair zu sein, aber es gibt keine Alternative. Man darf Forschung und Industrie nicht auf den bloßen Verdacht eines "Unkundigen" dadurch bestrafen, daß man von Unsicherheit und Gefährdung ausgeht, bis der Beweis der Sicherheit erbracht ist. Ich denke, daß man von einem Nukleararbeiter erwarten darf, daß er seinen Anteil am Risiko akzeptiert. Dies ist nun mal die Philosophie. (Siehe Ref.*

16)

Amerikaner, Kanadier und Engländer arbeiteten bei der Abfassung der ersten ICRP Empfehlungen sehr eng zusammen. Wissenschaftler anderer Länder waren von diesem Prozeß ausgeschlossen. Und so waren die Empfehlungen in Übereinstimmung danach ausgerichtet, daß die praktischen Erfordernisse der Nuklearindustrie gegen die Beweise von biologischer Schädigung abgewogen werden mußten.

Über die Frage, ob man unterschiedliche Grenzwerte für Nukleararbeiter und für die allgemeine Bevölkerung aufstellen sollte, wurde damals heftig debattiert. Die Amerikaner waren gegen zweierlei Standards und setzten sich damit auch durch, wie die ICRP-Empfehlungen vor 1950 zeigen. Diese behandelten nämlich nur Strahlenbelastungen am Arbeitsplatz. Die Exposition der Bevölkerung wird nicht erwähnt. Ein Hauptargument gegen zweierlei Standards war, daß damit gezeigt würde, daß der Umgang mit Strahlung eine gefährliche Betätigung sei.

Man wollte damals vor allem eine stabile Phase und nicht ständig sich ändernde Empfehlungen bezüglich des Strahlenschutzes, so daß sich die noch junge Nuklearindustrie ungestört entwickeln konnte.

In den 50er Jahren wurde die Frage nach der genetischen Wirkung ionisierender Strahlen in der Öffentlichkeit breit und heftig diskutiert. Dadurch gerieten die Mitglieder der ICRP zunehmend unter Druck, endlich Empfehlungen über die

Strahlenbelastung der allgemeinen Bevölkerung zu formulieren. Biologen und besonders Genetiker waren besorgt über die möglichen schädlichen Auswirkungen des Atombomben-Fallouts. Diese Besorgnis wurde aber von den Physikern in der ICRP nicht geteilt. Libby, ein hochrangiger Vertreter der AEC sagte: "Die Menschen müssen lernen mit den Realitäten des Lebens zu leben und eine dieser Realitäten ist der Fallout".

Unter welchen Druck die atomkritischen Wissenschaftler damals standen, wird auch daran deutlich, wie die U. S. Behörden zum Beispiel mit dem Nobelpreisträger Linus Pauling umgingen. Weil er sich sehr für die Beendigung der atmosphärischen Atomwaffentests eingesetzt hatte, mußte er seinen Paß abgeben und sich wöchentlich bei den Behörden melden. Er bekam seinen Paß erst wieder, nachdem ihm das Nobelkomitee den Friedensnobelpreis für eben diese Aktivitäten verliehen hatte.

Die Erkenntnis über die Größe eines genetischen Risikos bedeutete damals für die Nuklearindustrie ein zweifaches Problem. Einmal deuteten die wissenschaftlichen Ergebnisse darauf hin, daß eine weitere Reduktion der Strahlenbelastung angezeigt war, was für die Industrie mit erhöhten Ausgaben für Sicherheitsmaßnahmen verbunden gewesen wäre. Zum anderen bedeutete die wissenschaftliche Unsicherheit, daß die Planung für den zukünftigen Ausbau der Nuklearindustrie erschwert worden wäre.

Die Mitglieder der ICRP waren hauptsächlich bemüht, die Zukunftspläne der Nuklearindustrie durch ihre Empfehlungen nicht zu gefährden. Sie waren außerdem besorgt, daß andere Expertengruppen mit ausgeglichener Zusammensetzung und größerer Unabhängigkeit zu sehr viel restriktiveren Empfehlungen kommen würden.

Die ICRP machte zunächst keinerlei Empfehlungen für die allgemeine Bevölkerung und publizierte Ende der 50er Jahre nur vorläufige Empfehlungen, die eine größere Flexibilität in der Anwendung der maximal zulässigen Dosis gestattete. Aus "maximal zulässige Dosis" wurde nun "zulässige Dosis" gemittelt über drei Monate.

Es waren dann die nationalen Strahlenschutzkommissionen in England und USA, die auf den Druck der durch Fallout belasteten Öffentlichkeit hin eigene Empfehlungen über die zulässige Strahlenbelastung aussprachen. Dabei wurde die bei der ICRP empfohlene zulässige Dosis nicht verändert. Es wurde nur empfohlen, die kumulative Exposition besonders in den ersten 30 Lebensjahren zu begrenzen.

Das bedeutete, daß die zulässige Dosis über der natürlichen Untergrund-Dosis für die allgemeine Bevölkerung sehr eingegrenzt werden mußte. Das bedeutete weiterhin, daß die Höhe der zulässigen Strahlenbelastung der Bevölkerung durch die Nuklearindustrie von der Untergrundstrahlung und der Höhe der Strahlendosis, infolge medizinischer Maßnahmen, abhing.

Auf Druck von Seiten der Nuklearindustrie wurden natürliche und medizinisch bedingte Strahlenbelastung bei den Grenzwerten der ICRP nicht berücksichtigt. Dennoch betrug die von der Kommission übernommene zulässige Dosis für die Bevölkerung nur 1/3 der für Nukleararbeiter zulässigen 50 mSv pro Jahr. Diese Empfehlung betrachtete L. Taylor als: "unerträglich restriktiv für bestimmte nukleartechnische Einrichtungen". Daraufhin hat die ICRP ganz im Sinne ihrer Bemühungen um Kontinuität für bestimmte Vorgänge in der Nuklearindustrie auch Jahresdosen bis zu 120 mSv für zulässig erklärt.

So bereiteten die Empfehlungen der ICRP aus dem Jahr 1958 in ihrer Endfassung der Nuklearindustrie keine unüberwindbaren



Probleme.

#### Modelle der Dosiswirkungsbeziehung

Bis zu Beginn der 60er Jahre gingen die Mitglieder der ICRP von sigmoiden Dosiswirkungsbeziehungen (DWB) aus. Das sind Kurven, die zunächst im Bereich kleiner Dosen parallel zur X-Achse verlaufen und erst ab einer gewissen Dosischwelle eine Risikozunahme anzeigen. Doch dann lagen so viele experimentelle Daten vor, daß man von einer linearen Beziehung zwischen Dosis und Wirkung bei genetischen und somatischen Effekten wie Krebsinduktion ausgehen mußte. Das Risiko bei einer Exposition mit der zulässigen Dosis wurde zwar als nicht mehr akzeptabel eingeschätzt, aber dennoch mit Argumenten gerechtfertigt, die darauf abzielten, daß die Gesellschaft als Ganzes vom weiteren Ausbau der Nuklearindustrie nur profitieren könne. Eine Quantifizierung oder auch nur eine Beschreibung dieses Nutzens wurde von der ICRP nicht vorgenommen.

Insgesamt war die Akzeptanz der linearen DWB ein wichtiger Schritt in der sich nun entwickelnden Philosophie der ICRP. Bereits 1965 stellte die ICRP fest, daß die Annahme einer linearen DWB sehr wahrscheinlich das Risiko überschätzt. Tierexperimentelle Studien bei hohen Dosen hatten nämlich ergeben, daß die Dosisrate einen Einfluß auf die genetische Schädigung hat. Bei gleicher Dosis war der Schaden geringer, wenn die Dosis über einen größeren Zeitabschnitt verteilt

wurde. Diese in staatlichen Forschungslabors gefundenen Resultate wurden sehr viel schneller von der ICRP in ihre Empfehlungen aufgenommen als die warnenden Ergebnisse über genetische und somatische Strahlenschäden<sup>29</sup>.

#### Das Konzept der effektiven Äquivalentdosen

Vor 1977 wurden nach einer Strahlenbelastung die Äquivalentdosen für die einzelnen exponierten Organe getrennt ermittelt oder berechnet. Das am höchsten belastete Organ galt als das kritische Organ. Die Ganzkörperdosis ergab sich dann aus der Summe der Organdosen. In den Empfehlungen der ICRP 26 wird ein neues Dosiskonzept zur Bewertung stochastischer Strahlenschäden bei beruflich Strahlenexponierten entwickelt<sup>30</sup>. Dabei werden die in einem Organ absorbierten Strahlendosen mit dimensionslosen Wichtungsfaktoren für das angenommene Krebsrisiko des jeweiligen Organs multipliziert. Die effektive Dosis und damit der Gesamtschaden resultiert aus der Summation über die Dosen der exponierten Organe. Die Festlegung der Wichtungsfaktoren erfolgte von der ICRP aufgrund der mittleren Wahrscheinlichkeit des Auftretens maligner Erkrankungen mit tödlichem Ausgang bzw. des Risikos schwerer genetischer Schäden für Kinder und Enkel des Exponierten. Therapierbare, nicht unmittelbar zum Tode führende Krebserkrankungen bleiben unberücksichtigt. Damit nimmt rechnerisch das Krebsrisiko mit dem Fortschritt der Medizin ab.

Kritik wird an dem effektiven Äquivalenzdosismodell der ICRP

vor allem deswegen geübt, weil es sich bei der Bewertung strahlenverursachter Schäden ausschließlich auf die Sterblichkeit bezog und so das Auftreten gutartiger Tumore, Störungen des Immunsystems und andere Krankheiten unberücksichtigt läßt. Inakzeptabel ist auch, daß die Wichtungsfaktoren geschlechtsunabhängig angewendet werden. Dadurch wird das Brustdrüsenkrebsrisiko der Frau z. B. auf die Hälfte reduziert, da bei männlichen Personen das Strahlenrisiko für Brustkrebs praktisch nicht ins Gewicht fällt und der etwa dreifach höheren Krebsgefährdung der Frau nicht Rechnung getragen.

Die Wichtungsfaktoren wurden zur Risikoabschätzung von erwachsenen strahlenexponierten Personen entwickelt. Nach dem derzeitigen Stand der strahlenbiologischen Forschung ist es als unwahrscheinlich anzusehen, daß diese Wichtungsfaktoren der ICRP auch für die Exposition von Neugeborenen, Kindern, Jugendlichen, Immunschwachen und solchen mit genetischer Disposition für Krebs gelten.

Insgesamt führt das effektive-Äquivalentdosis-Konzept zu einer Unterschätzung des Strahlenschadens.

### ***Gesellschaftliche und wissenschaftliche Überlegungen im Widerstreit***

In den 60er Jahren haben die Mitglieder der ICRP klar zum Ausdruck gebracht, daß die Bestimmung zulässiger Dosen auch eine

große Rolle für die wünschenswerte gesellschaftliche Entwicklung der Nuklearindustrie spielen würde. Strahlenschutz bedeutete, einen Kompromiß zwischen biologischen Überlegungen und der politisch/ökonomischen Realität zu finden.

Manche unabhängige Wissenschaftler vertraten bereits damals die Auffassung, daß gesellschaftliche Überlegungen nicht in den Kompetenzbereich der ICRP gehörten. Die Mitglieder der ICRP teilten diese Auffassung aber nicht.

Eine wesentliche Folge des linearen Dosis-Wirkungs-Modells war die Vorstellung eines akzeptablen Risikos. Hatte die Kommission früher darauf bestanden, daß eine Berücksichtigung ihrer Dosisgrenzen ausreicht, so bestand sie jetzt darauf, daß die Expositionen so niedrig wie sinnvollerweise erreichbar, sein sollten. Das ist das "ALARA-Prinzip" (as low as reasonably achievable).

Damit wurden explizit ökonomische und gesellschaftliche Überlegungen in die Risikobegrenzung einbezogen. Die ICRP entschied nicht nur über Grenzwerte, sondern auch über das, was sinnvollerweise erreichbar ist. Kosten/Nutzen-Analysen sollten Aufschluß geben über die Größe eines Risikos und die Kosten, dies zu reduzieren.

Mit dem Dosisgrenzwert von 50 mSv und dem ALARA-Prinzip erhoffte die ICRP, daß die mittlere Exposition der Nukleararbeiter auf 1/10 des Grenzwertes reduziert werden könne, wobei höhere Expositionen nur gelegentlich vorkommen sollten. Dabei hat die ICRP aber insbesondere die Uranbergarbeiter, die in Wiederaufbereitungsanlagen Tätigen und andere ständig höheren Dosen Ausgesetzte aus ihren Überlegungen ausgeschlossen. Alle Strahlenbelastungen, so die Forderung der Kommission, sollten begründet sein. Begründung

und Kosten/Nutzen-Analysen lagen in der Verantwortung der ICRP selbst. In den 50er Jahren, als man noch davon ausging, daß das Strahlenrisiko klein sei, hat die ICRP auch wiederholt Bewertungen über den Nutzen der Nuklearenergie abgegeben.

In den 70er Jahren hatten sich die gesellschaftlichen Umstände verändert. Die allgemeine Unterstützung der Nuklearindustrie existierte nicht mehr. Die wissenschaftlichen Ergebnisse über die Strahlenwirkung zeigten, daß das Strahlenrisiko teilweise sogar erheblich größer ist, als man zuvor angenommen hatte.

Die ICRP machte es sich nun einfach, indem sie die Verantwortung für die Begründung von Strahlenbelastungen und für Kosten/Nutzen-Abschätzungen auf nationale Organisationen und Kommissionen übertrug. Diese wiederum gingen davon aus, daß sich die praktische Anwendung der ICRP Empfehlungen auf Aktivitäten beziehe, die einfach aus der jahrelangen Praxis längst als begründet und gerechtfertigt galten, sowohl de facto als auch durch breite politische, ökonomische, medizinische und gesellschaftliche Zustimmung. Die Forderung, alle Strahlenexpositionen zu rechtfertigen, wurde und blieb das vergessene Prinzip der ICRP.

Die ICRP, aber auch die nationalen Kommissionen, waren und sind daran interessiert, daß die Dosisgrenzwerte und das ALARA-Prinzip eingehalten werden. Die praktischen Erfordernisse der Nuklearindustrie wurden von den Kommissionen stets in erster Linie berücksichtigt.

Notwendige Flexibilität war das Hauptargument gegen die Empfehlung einer Lebenszeitdosis und gegen eine Reduktion der Jahresdosis. Das hätte besonders beim Uranabbau zu Härten für die Industrie geführt.

### Der Einfluß veränderter wissenschaftlicher Erkenntnisse

Die größte Herausforderung für die Autorität der ICRP kam nicht von den unabhängigen Kritikern. Mit diesen wurde die ICRP problemlos fertig, indem sie ihnen wissenschaftliche Seriösität absprach. Nun war die ICRP mit Kritik von Wissenschaftlern aus dem eigenen Lager konfrontiert.

In den frühen 80er Jahren wurden erhebliche Zweifel an der Gültigkeit der epidemiologischen Grundlagen der ICRP Empfehlungen erhoben. Die Deutlichkeit der neuen Erkenntnisse veränderte langsam die Art der Auseinandersetzung. Plötzlich befand sich die ICRP nicht mehr in der autoritären, jeglicher Kritik erhabenen, Rolle. Jetzt wurden ihre Reaktionen sehr sorgfältig überwacht und hinterfragt.

Die Risikoabschätzungen der ICRP beruhten fast ausschließlich auf der Analyse der Mortalität der Atombombenüberlebenden in Japan. Diese Analysen hängen von der Genauigkeit der Dosismittlungen für die einzelnen Überlebenden ab. Nur dann ist es möglich, ein Strahlenrisiko anzugeben. Die ersten Mortalitätsstudien der Atombombenüberlebenden ergaben für Hiroshima höhere Leukämietodesraten als für Nagasaki. Dies wurde durch die höhere Neutronendosis in Hiroshima erklärt. In Nagasaki gab es fast keine Neutronenstrahlung, und der beobachtete biologische Effekt mußte von der Gamma-Strahlung ausgelöst worden sein.

Das alte Dosimetriesystem aus dem Jahr 1965 wurde nun durch eine Untersuchung von Wissenschaftlern aus dem Lawrence Livermore Forschungsinstitut, einer der Atomwaffenschmieden der USA, in Frage gestellt, ja sogar als falsch befunden. Die

Wissenschaftler kamen zu dem Resultat, daß erstens das alte Dosimetriesystem die Neutronendosis in Hiroshima um den Faktor 6-10 überschätzt hatte, der Beitrag der Neutronen zum biologischen Effekt also kleiner war, und daß zweitens die Gamma-Dosis in Hiroshima unterschätzt, in Nagasaki dagegen überschätzt worden war<sup>31</sup>.

Diese Resultate erzeugten erheblichen Wirbel in der internationalen Wissenschaftspresse. Die Zeitschrift "Science" kommentiert die neuen Erkenntnisse unter der Überschrift: Neue Atombombenstudie verändert Strahlendosenabschätzung; die Grundlage von 15 Jahren Strahlenforschung möglicherweise fehlerhaft. Strahlengefährdung unterschätzt<sup>32</sup>.

Die ersten Reaktionen der ICRP auf diese neue Situation waren intensive Bemühungen, die Kontinuität und Stabilität ihrer Empfehlungen aufrecht zu erhalten. Sie behauptete, die Auswirkungen der Dosisrevision seien nur gering und hätten keinen Einfluß auf das System der Dosisbegrenzung, außerdem würde das ALARA-Prinzip dafür sorgen, daß die meisten Expositionen weit unterhalb der Dosisgrenze liegen. So sorgte das ALARA-Prinzip für die von der ICRP erwünschte Stabilität und Kontinuität angesichts der wissenschaftlichen Ungewissheit über die wahre Größe des Strahlenrisikos.

Auf dem 5. Internationalen Kongress der Strahlenschutzgesellschaft 1980 in Jerusalem versuchte L. S. Taylor noch einmal, sich vehement gegen die neuen Erkenntnisse über das Strahlenrisiko aufzulehnen. Er sagte damals unter anderem:

*"Wir wissen bereits alles, um uns angemessen vor ionisierender Strahlung zu schützen."*

Zu der immer deutlicher werdenden Kritik an den Strahlenschutzempfehlungen sagte Taylor:

*"Die Frage nach der Wirkung kleiner Strahlendosen würde nur eine ganz untergeordnete Rolle auf wissenschaftlichen Tagungen spielen, wenn da nicht einige Congress-Komitees mehr an Schlagzeilen als an Fakten interessiert wären und eine sensationssüchtige Presse nicht die Unterstützung von publizitätshungrigen Wissenschaftlern hätte" (Ref. 16).*

Taylor wies auch Behauptungen zurück, Menschen seien als Folge einer zulässigen Strahlenbelastung verletzt worden oder an Krebs erkrankt.

#### Zunehmende Kritik am Verhalten der ICRP und deren Reaktion

Gegen Ende der 80er Jahre waren die wissenschaftlichen Beweise für die Gefährlichkeit ionisierender Strahlung so erdrückend, daß sich der Schwerpunkt der Debatte um das Strahlenrisiko radikal veränderte. Es waren insbesondere die epidemiologischen Langzeit-Untersuchungen an strahlenexponierten Personengruppen<sup>6, 7, 33, 34, 35, 36, 37</sup>, die immer wieder aufzeigten, daß das Strahlenkrebsrisiko über zehnmal höher ist, als es bei den ICRP-Empfehlungen zugrunde gelegt wurde.

Es ging nun nicht mehr darum, ob die ICRP ihre Empfehlungen revidieren sollte. Die Frage war, wann und wie groß die Revision sein sollte. So geriet die ICRP zunehmend unter Druck, ihre Strahlenschutzempfehlungen zu ändern.



In dieser Zeit mehrten sich auch die Anzeichen für einen supralinearen Verlauf der Dosis-Wirkungskurven, wenigstens im niedrigen Dosisbereich, für strahleninduzierte Mutationen und Krebs. Das bedeutet, es werden pro zusätzliche Doseinheit mehr Krebserkrankungen bei kleinen als bei höheren Dosen induziert. Trotzdem hat die ICRP in ihren Publikationen 26 und 30 Ende der 80er Jahre die maximal zulässigen Konzentrationen für die meisten Radionuklide in Luft, Wasser und Nahrung erhöht. Erst 1986 kündigte die ICRP-Kommission an, die Grundlagen ihrer Empfehlungen zu überprüfen.

Zum ersten Mal in der Geschichte der ICRP wurden auch unabhängige Expertengruppen und Organisationen, ja sogar Kritiker der alten Empfehlungen, um Kommentare zu den notwendigen Veränderungen gebeten. Einzelne führende Mitglieder der ICRP haben sich zu den neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen geäußert und angedeutet, daß die ICRP auf ihrer Tagung in Como 1986 die Risikoabschätzungen um einen Faktor von 4 heraufsetzen könne.

Auf der Comotagung müssen sich aber dann die Hardliner durchgesetzt haben, denn die ICRP gestand zwar ein, daß sie das Risiko möglicherweise um das 2-fache unterschätzt habe, erklärte aber, daß diese Information alleine nicht als ausreichend angesehen werde, um eine Änderung bei den Dosisgrenzen für beruflich bedingte Strahlenbelastung zu rechtfertigen. Auch sah die ICRP keinen Handlungsbedarf, den Grenzwert von 1 mSv/Jahr für die allgemeine Bevölkerung zu verändern. Eine Überarbeitung ihrer Empfehlungen würde nicht vor 1990 publiziert.

Diese Haltung der ICRP stieß auf weitgehendes Unverständnis, sogar bei den traditionellen ICRP Unterstützern, wie der

englischen Strahlenschutzbehörde, und zeigt erneut, daß die ICRP ihren alten Prinzipien treu geblieben ist, im Zweifelsfall so zu entscheiden, daß der Nuklearindustrie kein wirtschaftlicher Schaden entsteht.

In den folgenden Jahren hat die englische Strahlenschutzbehörde eigene Empfehlungen für die Strahlenbelastung am Arbeitsplatz ausgesprochen, die um einen Faktor zwischen 3 und 4 unter den Empfehlungen der ICRP lagen. Daraufhin hat die ICRP erneut ihr Konzept zur Beschreibung der Risiken modifiziert. Der Begriff "akzeptables Risiko" wurde nun durch die Vorstellung eines "tolerierbaren Risikos" ersetzt. Dabei ging es nicht um ein biologisch, sondern um ein gesellschaftlich tolerierbares Risiko.

Der ICRP ging es hauptsächlich darum, die neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse gegen die notwendige Stabilität und Kontinuität ihrer Empfehlungen abzuwägen. Eine Erhöhung des Risikos müsse nicht automatisch eine Reduktion der Dosisgrenzwerte nach sich ziehen, so argumentierte man auf internationaler wie nationaler Ebene. Mit dem ALARA-Prinzip könne das größere Risiko aufgefangen werden.

Seit 1977 wurde auch ein neuer Vergleich für das Risiko propagiert. Es sollten nicht mehr nur die tödlichen Krebserkrankungen gegen die Todesfälle in anderen Industriezweigen verglichen werden, sondern der Verlust an Lebensjahren war jetzt entscheidend<sup>38</sup>. Damit wiegt ein tödlicher Unfall eines 30 jährigen Industriearbeiters sehr viel schwerer als eine tödliche Krebserkrankung, die zwar auf eine Strahlenbelastung eines gleichaltrigen Arbeiters zurückgeht, aber erst 30-40 Jahre später zum Tode führt. In ihrer neuesten Strahlenschutzempfehlung aus dem Jahr 1990 nimmt die ICRP zwar

zur Kenntnis, daß das Risiko um den Faktor 4 bis 5 höher liegt, empfiehlt aber keine Reduktion der Dosisgrenzwerte.

#### Die neuen Empfehlungen der ICRP

In der Publikation Nr. 60 bleibt die ICRP ihrer bisherigen Auffassung treu, daß Stabilität und Kontinuität ihrer Empfehlungen oberste Priorität haben<sup>14, 15, 19</sup>. Die 13 Mitglieder der Hauptkommission der ICRP gaben dem Druck der Nuklearindustrie nach und setzten flexible Anwendung der Schutzverordnungen und Rentabilitätsüberlegungen höher an als die Gesundheit derer, die das Risiko zu tragen haben.

Die neuen ICRP-Empfehlungen sind also nichts weiter als der zynische Versuch, die Nuklearindustrie vor den Auswirkungen der neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse über die erheblich höhere Gefährlichkeit ionisierender Strahlung zu schützen.

Es wäre für eine Organisation, die den Schutz vor ionisierender Strahlung propagiert, logischerweise angebracht gewesen, den bisher erreichten Schutz festzuschreiben oder sogar noch zu verbessern. Doch von solchen Bemühungen ist in der ICRP-Publikation Nr. 60 nichts zu finden.

Nuklearindustrie und ICRP haben das ALARA-Prinzip und nicht die Grenzdosis als wesentliches Instrument der Expositionsminimierung betrachtet.

Es hat sogar nicht an Vorschlägen gefehlt, Empfehlungen über Dosisgrenzen ganz aufzugeben. Doch dann würden die besonders stark exponierten Nukleararbeiter und vor allem die Arbeiter

in den Uranminen einem nicht akzeptablen Risiko ausgesetzt.

Untersucht man, ob mit den ICRP-60 Empfehlungen die Sicherheitsstandards beibehalten werden, so findet man, daß dies nicht der Fall ist. Obwohl das Strahlenrisiko selbst von der ICRP als 4-5 mal höher eingestuft wird als noch in früheren Publikationen, werden die zulässigen Dosen nicht entsprechend reduziert. Inzwischen mehren sich Veröffentlichungen in der wissenschaftlichen Literatur, die noch zu weit höheren Strahlenrisiko-Faktoren kommen als die ICRP<sup>39</sup>. Diese neuen und neuesten Erkenntnisse werden von den Mitgliedern des Strahlenschutzestablishment bequemerweise nicht zur Kenntnis genommen. Ein Grund dafür ist die Unvereinbarkeit der neuen epidemiologischen Befunde mit den offiziellen Analysen der Hirosima-Nagasaki-Daten.

Mit der ICRP-Publikation Nr.60 wird den Betroffenen ein bislang unakzeptables Risiko zugemutet, indem die zugrunde liegenden Entscheidungskriterien gelockert wurden.

So wird in der ICRP-Publikation Nr.26 aus dem Jahr 1977 noch davon ausgegangen, daß eine Strahlenbelastung von 50 mSv, dem damaligen Dosisgrenzwert, ein tödliches Krebsrisiko von 1/2000 pro Jahr darstellt. Der Dosisgrenzwert von 50 mSv wurde von Mitgliedern der ICRP als "untere Grenze einer nicht akzeptablen Dosis Region"<sup>40</sup> oder als "untere Schranke einer Region unakzeptabler Praxis"<sup>41</sup> bezeichnet. Aus solchen Äußerungen darf man schließen, daß eine Exposition über 50 mSv nur aus "völlig unakzeptabler" Praxis im Umgang mit Strahlung und

Radioaktivität entstanden sein kann. Das daraus resultierende Risiko wäre damals auch als völlig unakzeptabel betrachtet worden.

Nun sagt die ICRP, die jährliche Grenzwertdosis sei zu unflexibel und schlägt eine 5 Jahres Dosis von 100 mSv vor. Das sind im Jahr 20 mSv. Wegen des von der ICRP akzeptierten 4-5 mal höheren Strahlenrisikos bedeutet eine Jahresdosis von 20 mSv ein Risiko von 1/1000 pro Jahr. Damit ist das jetzt von der ICRP als akzeptabel definierte Risiko doppelt so hoch wie vor 16 Jahren. Eine Begründung wird nicht formuliert.

Hätte die ICRP danach getrachtet, das Risiko auf der damals als akzeptabel definierten Höhe zu halten, was sinnvoller und gerechter Weise von einer Strahlen-schutzorganisation zu erwarten wäre, dann hätte sie den Grenzwert für Strahlen-arbeiter auf 10 mSv pro Jahr festlegen müssen. Selbst das wäre angesichts der neuesten wissenschaftlichen Resultate über die kanzerogene und mutagene Wirkung ionisierender Strahlung noch immer eine zu hohe Dosis.

Die neuen ICRP-Empfehlungen gestatten auch eine gewisse Flexibilität in der Anwendung der Dosisgrenzen. Innerhalb des 5-Jahre-Grenzwertes von 100 mSv darf ein Arbeiter 50 mSv in einem Jahr erhalten. Das bedeutet aber, daß ein solcher Arbeiter dann einem Risiko ausgesetzt ist, daß selbst nach den Kriterien der ICRP als unakzeptabel gilt.

Gerade diese Flexibilitätsregelung ist von der englischen Strahlenschutzbehörde kritisiert worden. Die deutsche Strahlenschutzkommission (SSK) dagegen, hat die Empfehlungen der ICRP in der Vergangenheit und auch jetzt ohne Änderungen

übernommen.

Die von der ICRP propagierte Flexibilität in der Anwendung der Dosisgrenzen schützt zwar die Rentabilität der betroffenen Industrie, aber ganz sicher nicht die Gesundheit der Risikogruppen. Die ICRP behauptet zwar, daß sich mit Hilfe des ALARA-Prinzips die mittlere Dosis auf etwa ein Zehntel des Jahresgrenzwerts herabsetzen läßt und höhere Expositionen nur gelegentlich vorkommen. Aber das ist und war nie der Fall. Bestimmte Arbeiterkollektive, insbesondere bei der Wiederaufbereitung und beim Uran-Abbau sind ständig höheren Dosen ausgesetzt. Es sind diese Teilbereiche der Nuklearindustrie, die ohne die Flexibilität nicht funktionsfähig wären.

Besonders die französischen Strahlenschutzbehörden haben sich hier hervorgetan und gefordert, daß für Nukleararbeiter generell eine Lebenszeit-Dosis von 1000 mSv eingeführt werden sollte. Die Experten der französischen Atomenergie-Kommission behaupteten ferner:

*Eine Reduktion des Dosisgrenzwertes auf 20 mSv/Jahr würde eine verheerende psychologische Wirkung in der Öffentlichkeit und bei den Angestellten der Nuklearindustrie haben. Wie sollte man die Öffentlichkeit davon abbringen, diese Reduktion als eine Bestätigung ihrer Befürchtungen und eine Bloßstellung der Technokraten zu betrachten (Ref. 16).*

Entsprechend heißt es in den ICRP-Empfehlungen von 1990: "Die Dosisgrenze sollte so festgesetzt werden, daß die effektive Dosis für ein ganzes Arbeitsleben 1 Sv nicht überschreitet". Die Nuklearindustrie hat die neuen Empfehlungen der ICRP allgemein begrüßt.

Mehrere nationale und internationale Gremien haben sich zu verschiedenen Zeiten über die Höhe eines maximal akzeptierbaren oder tolerierbaren Risikos für die breite Öffentlichkeit Gedanken gemacht. Obwohl solche Überlegungen zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen führen können, hat man bis vor kurzem ein Todesrisiko oder Schadensrisiko von 1/100 000 pro Jahr als die Grenzlinie zwischen dem, was noch tolerierbar und dem was unakzeptabel ist, angesehen. Auch die ICRP hat sich diesen Überlegungen angeschlossen.

Vor der Risikorevision für ionisierende Strahlung hielt man die von der ICRP propagierte Dosisgrenze von 1 mSv für die breite Öffentlichkeit für tolerierbar, da sie nur ein Schadensrisiko von 1/100 000 pro Jahr produzierte. Nun geht die ICRP aber davon aus, daß ionisierende Strahlung etwa 5 mal gefährlicher ist, als man bei der ersten Empfehlung des 1 mSv Dosisgrenzwertes glaubte. Neueren Ergebnisse deuten sogar auf eine noch höhere Gefährlichkeit ionisierender Strahlung hin, speziell bei zusätzlichen Dosen, die vergleichbar sind mit der Dosis der natürlichen Hintergrundstrahlung, wie bereits wiederholt ausgeführt wurde.

Eine konsequente Reduktion der 1 mSv Grenze wird aber von der ICRP nicht vorgenommen. Damit setzt die ICRP die Folge ihrer Fehlentscheidungen und Falschentscheidungen fort, wie Karl Morgan kürzlich ausführte<sup>37</sup>.

Da die ICRP-Empfehlungen die Grundlage für nationale Strahlenschutzgesetzgebungen sind, werden sowohl Strahlenarbeiter, als die Öffentlichkeit einem Risiko ausgesetzt, das erheblich höher ist als das, was früher als akzeptabel angesehen wurde.

Karl Morgan, der 20 Jahre in der ICRP an exponierter Stelle mitgearbeitet hat, der nicht müde wurde, verantwortlichen Strahlenschutz einzufordern, der wiederholt die Abhängigkeit

der meisten ICRP-Mitglieder von dem Nuklearestablishment anprangerte, sagte einmal über die ICRP:

"Trotz ihrer Nützlichkeit in der Vergangenheit war die ICRP niemals bereit, sich gegen das Nuklearestablishment zu stellen. Ich bin nicht sicher, ob ich einer solchen Organisation mein Leben anvertrauen würde".<sup>42</sup>

#### Literatur beim Verfasser

---

1. Berry RJ (1987) The International Commission on Radiological Protection - A Historical Perspective, in: Radiation and Health, hrsg. R. Russell Jones und R. Southwood, John Wiley & Sons Ltd. Chichester, 117-123.
2. Caufield C (1990) Multiple Exposure: Chronicles of the Radiation Age. Chapter 2: The First Standards. Chicago, IL; The University of Chicago Press; Deutsche Ausgabe mit einem Ergänzungskapitel von W. Köhnlein und R. H. Nussbaum: Das Strahlende Zeitalter, von der Entdeckung der Röntgenstrahlung bis Tschernobyl (1993). Beck'sche Reihe 1025 C. H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung München
3. Green P (1991) A Brief History of the ICRP: Are Radiological Protection Standards Based upon Science or Politically Biased towards the Nuclear Industry? Greenpeace International Workshop
4. Morgan KZ (1987) ICRP Risk Estimates - An Alternative View, in:



---

Radiation and Health, hrsg. R. Russell Jones und R. Southwood, John Wiley & Sons Ltd. Chichester, 125-154

5. Morgan KZ (1992) Historical Perspectives in Occupational Medicine; Health Physics: Its Development, Successes, Failures and Eccentricities. Am. J. of Ind. Med. 22: 125-133

6. Taylor LS (1971) Radiation Protection Standards, CRC Critical Reviews in Environmental Control. 81-124

7. Taylor LS (1980) Some Nonscientific Influences on Radiation Protection Standards and Practice; Health Physics 39:

8. Gofman JW. (1990) Radiation-induced Cancer from Low-dose Exposure: An Independent Analysis. San Francisco: Committee for Nuclear Responsibility Book Division.

9. Gofman JW. (1989) Supra-linear dose-response in the A-bomb study. Health Phys 57: 1037-1038

10. Stewart AM (1983) Delayed Effects of A-bomb Radiation: A Review of Recent Mortality Rates and Risk Estimates for Five-year Survivors, J. of Epidemiology and Community Health 36: 80-86

11. Stewart AM, Kneale GW (1990) A-bomb Radiation and Evidence of Late Effects other than Cancer, Health Phys. 58: 729-735

12. Stewart AM, Kneale GW (1993) A-bomb Survivors: Further Evidence of Late Effects and Early Deaths, Health Phys. 64: 467-472

- 
13. Scholz R und Lengfelder E (1989) Strahlenschutz in der Bundesrepublik Deutschland: Das 30-Millirem-Konzept. Berichte des Otto Hug Strahleninstituts, 1: 1-39
  14. Schmidt M (1991) The New Recommendations of the International Commission on Radiological Protection - No Progress for Radiological Protection. International Perspectives in Public Health 7: 20-28
  15. Richings D (1979) Radiation Risk, Limits and ICRP, New Scientist 26. April 278-280
  16. Caufield C (1990) Multiple Exposure: Chronicles of the Radiation Age, Kapitel 17 A House Divided, Chicago Il, The University of Chicago Press
  17. Morgan KZ (1993) Wünschenswerte Veränderungen der Art und Weise, wie Internationale Strahlenschutzempfehlungen verfaßt werden, Berichte des Otto Hug Strahleninstituts 6: 3-12
  18. Green PA (1985) The International Commission on Radiological Protection; Greenpeace: London
  19. International Commission on Radiological Protection: Recommendations of the ICRP (1966), Publication 9. Par. 83, Pergamon. 19.
  20. Taylor LS (1980) Let's Keep Our Sense of Humor in Dealing with Radiation Hazards, Perspectives in Biology and Medicine 23: 334-340
  21. Jasanoff SS (1987) Contested Boundaries in Policy-Relevant

---

Science, Social Studies of Science 17: 195-230

22. Taylor LS (1971) Radiation Protection Standards, London Butterworths 22. 22

23. Smith H (1988) The International Commission on Radiological Protection: Historical Overview, IAEA Bulletin 30, No 3, 42-44

24. Smith H and Thorne MC (1987) The Origin and Work of the ICRP, Investigative Radiology 22: 918-921

25. Pochin EE (1986) The Evolution of Radiation Protection Criteria, Nuclear Energy 25: 19-27

26. Mutscheller A (1925) Physical Standards of Protection Against Röntgen Dangers, Am. J. of Röntgenology 13: 65-70

27. Catcheside DG (1947) Genetic Effects of Irradiation with Reference to Man, Medical Research Council Committee on the Medical and Biological Application of Nuclear Physics, Protection Sub-Committee NP/P/TD/3, MCR. 47/77

28. Lea DE (1947) Memorandum on Tolerance Doses in Relation to Genetic Effects of Radiation, Medical Research Council Committee on the Medical and Biological Application of Nuclear Physics, Tolerance Dose Panel of the Protection Sub-Committee NP/P/TD/14, 28 April 1947

29. Siehe z. B. Köhnlein W, Nussbaum RH (1991) Reassessment of Radiogenic Cancer Risk and Mutagenesis at Low Doses of Ionizing

---

Radiation, in: *Advances in Mutagenesis Research* 3, hrsg. G. Obe, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 53-80

30. ICRP 26: *Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission; ICRP-Veröffentlichungen. Heft 26 (Deutsche Ausgabe)*, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart-New York (1978).

31. Loewe WE and Mendelsohn E (1980) Revised Dose Estimates at Hiroshima and Nagasaki, *Health Physics* 41: 663-666

32. Marshall E (1981), *Science* 212: 900-903

33. Modan B, Alfandary E, Chetrit A, Katz L (1989) Increased risk of breast cancer after low-dose irradiation, *Lancet* i: 629-631

34. Mancuso TF, Stewart AM, Kneale GW (1977) Radiation exposures of Hanford workers dying of cancer and other causes, *Health Phys* 33: 369-384

35. Nussbaum RH (1989) New Data Inconsistent with Scientific Consensus on Low-Level Radiation Cancer Risks, *Health Physics* 56: 961-962

36. Nussbaum RH, Köhnlein W, Belsey RE (1991) Die neueste Krebsstatistik der Hiroshima-Nagasaki-Überlebenden: Erhöhtes Strahlenrisiko bei Dosen unterhalb 50 cGy (rad) Konsequenzen für den Strahlenschutz, *Med Klin* 86: 99-108

37. Morgan KZ (1987) ICRP Risk Estimates - An Alternative View, in: *Radiation and Health, The Biological Effects of low Level Exposure to*

---

**Ionizing Radiation, hrsg. R. Russell Jones und R. Southwood, John Wiley & Sons Ltd. Chichester, 125-154.**

**38. International Commission of Radiation Protection, ICRP Publication 27, Problems involved in developing an index of harm. Annals of the ICRP 1(4) 1977.**

**39. Kuni H (1994) Niedrige Strahlendosen und Gesundheit der Arbeitnehmer, Berichte des OttoHug Strahleninstituts Nr. 8-11: 1-168**

**40. Lindell B, Beninson DJ, Sowby FD (1981) International Radiation Protection Recommendations: 5 Years Experience of ICRP Publication 26, International Conference on Nuclear Power Experience, Wien, September 1982 IAEA-CN 42 Wien International Atomic Energy Authority**

**41. Berry RJ (1987) The International Commission on Radiological Protection - A Historical Perspective, in Radiation and Health The Biological Effects of Low Level Exposure to Ionizing Radiation, hrsg. R. Russell Jones und R. Southwood. John Wiley & Sons Ltd. Chichester, 117-123**

**42. Morgan KZ (1992) Desirable Changes in the Way International Radiation Protection Standards are Established, Vortrag auf der zweiten Weltkonferenz der Strahlenopfer, Berlin September 1992**