

H. Kuni<sup>1</sup>

## **Grenzwerte - was sind sie wert? <sup>2</sup>**

### **Teil I Einwirkung hoher Dosen und ihre Folgen**

#### **Einleitung**

An sich dürfte es kein Problem mit den Grenzwerten geben, denn:

Die Grenzwerte im Strahlenschutz werden alle 2 bis 3 Jahre den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen angepaßt. (ARD-Tagesschau, 13. Juli 1998, Frau Ministerin Merkel, gleichlautend Prof. Reiners tags zuvor)

#### **Die Anpassung von Grenzwerten**

Zur Einstimmung einige Beispiele zur Anpassung von Grenzwerten. Die ersten beiden Beispiele (s. Abb. 1 und Abb. 2) sind makabre Beispiele für einen Umgang mit den Grenzwerten aus der Geschichte der Wiederaufarbeitung von Brennelementen aus Atomkraftwerken. In diesem Zusammenhang sei an den Ursprung der interdisziplinären Seminare erinnert, der Plan, in unmittelbarer Nachbarschaft Marburgs, in Wangershausen bei Frankenberg, die deutsche Wiederaufarbeitungsanlage zu errichten.

---

<sup>1</sup> Universitätsprofessor, Klinische Nuklearmedizin, Philipps-Universität Marburg, D 35033 Marburg, <http://staff-www.uni-marburg.de/~kuni/h/>, [h.kuni@mail.uni-marburg.de](mailto:h.kuni@mail.uni-marburg.de)

<sup>2</sup> Vortrag im Interdisziplinären Seminar des WS 98/99 Bedrohte Umwelt: Indikatoren und Bewertung am 26.10.98

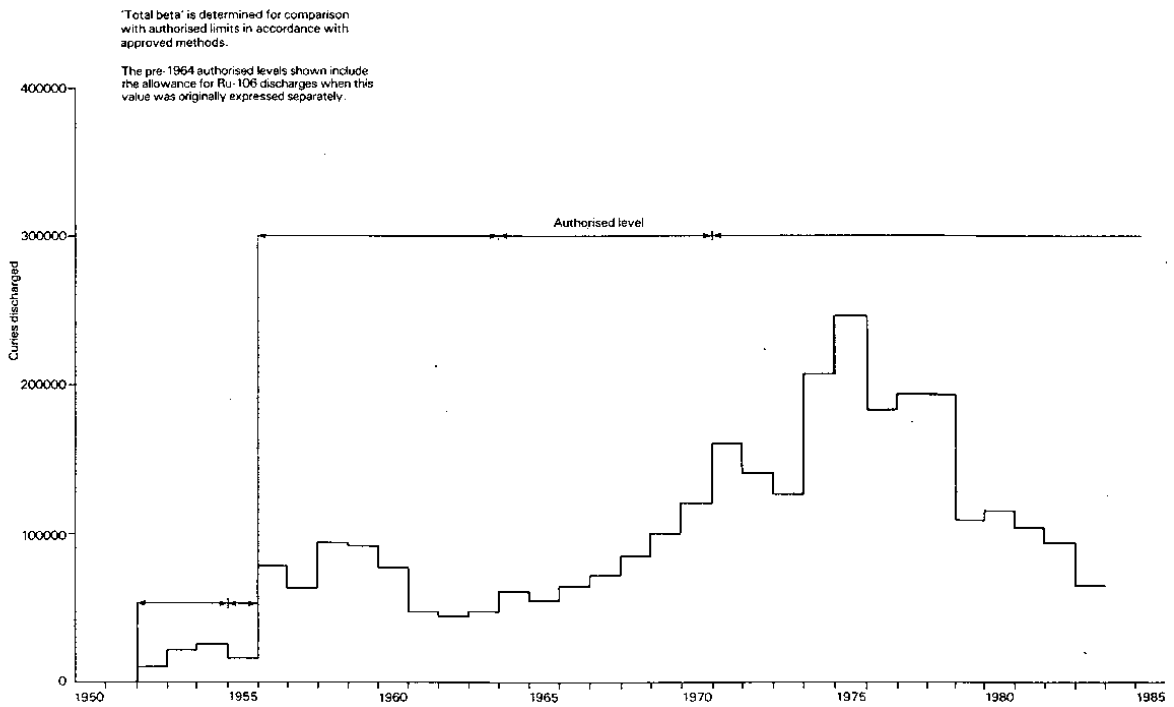


Abb. 1: Abgabe von Betastrahlern in die Irische See durch die Wiederaufarbeitungsanlage Windscale/Sellafield und die dafür gesetzten Grenzwerte  
Ci: bis 31.12.1995 gültiges Maß für Radioaktivität, 1 Ci entspricht 37 GBq

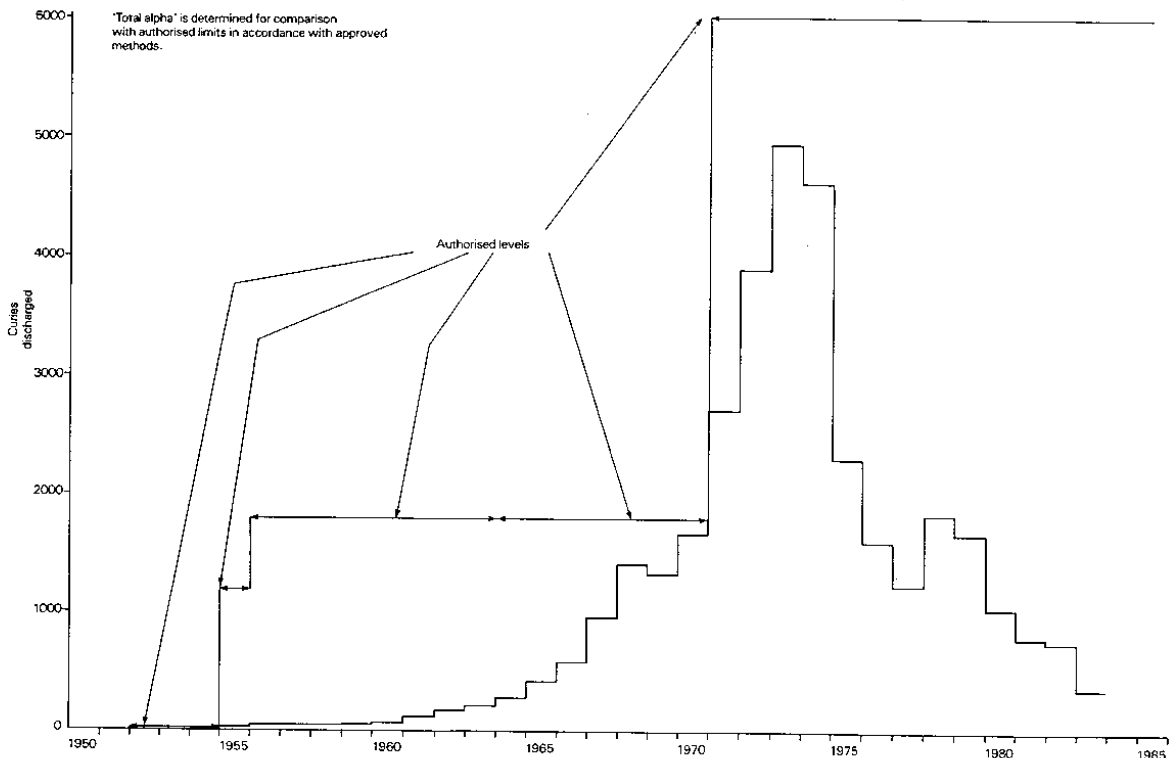


Abb. 2: Wie Abb. 1, jedoch für Alphastrahler  
 Alphastrahler haben eine wesentlich höhere biologische Wirksamkeit  
 Der abgelassene flüssige Atommüll enthält vor allem die hochtoxischen Radioisotope des Plutoniums und Americiums

Das nächste Beispiel für die Anpassung eines Grenzwertes an „neue wissenschaftliche Erkenntnisse“ ist aktueller (s. Abb. 3). Die deutsche Strahlenschutzkommission hat die bevorstehende Senkung des Grenzwertes für die maximal zulässige Strahlenbelastung der Bevölkerung durch externe Strahlung von 1,5 mSv auf 1,0 mSv pro Jahr zum Anlaß genommen, den Grenzwert für die Entlassungsaktivität von Patienten nach einer  $^{131}\text{J}$ -Therapie zu revidieren [ICRP 60 1991, SSK 1996]. Bei dieser Form der Strahlentherapie von Erkrankungen der Schilddrüse wird Radiojod intern verabreicht. Wegen des Strahlenfeldes, das die Behandelten darstellen und wegen der hohen Ausscheidung von Radioaktivität müssen die Patienten in speziellen Strahlenschutzbetten verweilen, solange der Gehalt ihres Körpers die Entlassungsradiaktivität überschreitet. Es wurde empfohlen, die Entlassungsradiaktivität, die in einer Richtlinie geregelt ist, von 90 MBq auf 250 MBq herauf zu setzen.

Daraus können wir lernen, daß es primäre und sekundäre, davon abgeleitete Grenzwerte gibt.

Die Entlassungsradiaktivität ist ein abgeleiteter Grenzwert, in den nicht nur die Empfehlung des primären Grenzwertes von in Zukunft 1 mSv pro Jahr für externe Strahlung eingeht, sondern auch eine Annahme über den mittleren Abstand zwischen Patienten und seinen Angehörigen. Dieser

Abstand wurde in der revidierten Empfehlung doppelt so groß angesetzt wie bisher. Da zudem der Patient als punktförmige Strahlenquelle vereinfacht wurde, ergibt das inverse quadratische Abstandsgesetz eine Reduktion der Dosisleistung auf ein Viertel des ursprünglich angesetzten Wertes.

Der Vorteil für die Patienten besteht darin, daß Sie früher aus der stationären Behandlung entlassen werden können und die ohnehin enge Begrenzung der Kapazität von Therapiebetten sich nicht weiter verschärft. Der Vorteil für die Krankenhäuser und auch für die Kostenträger ist die Einsparung der Notwendigkeit, teure Verbesserungen der Infrastruktur zum Strahlenschutz der Therapiebetten vornehmen zu müssen. Auf der Strecke bleibt der Strahlenschutz der Angehörigen, aber auch des Personals. Durch den Aufenthalt von Patienten mit einer höheren durchschnittlichen Aktivität nimmt auch seine Belastung zu.

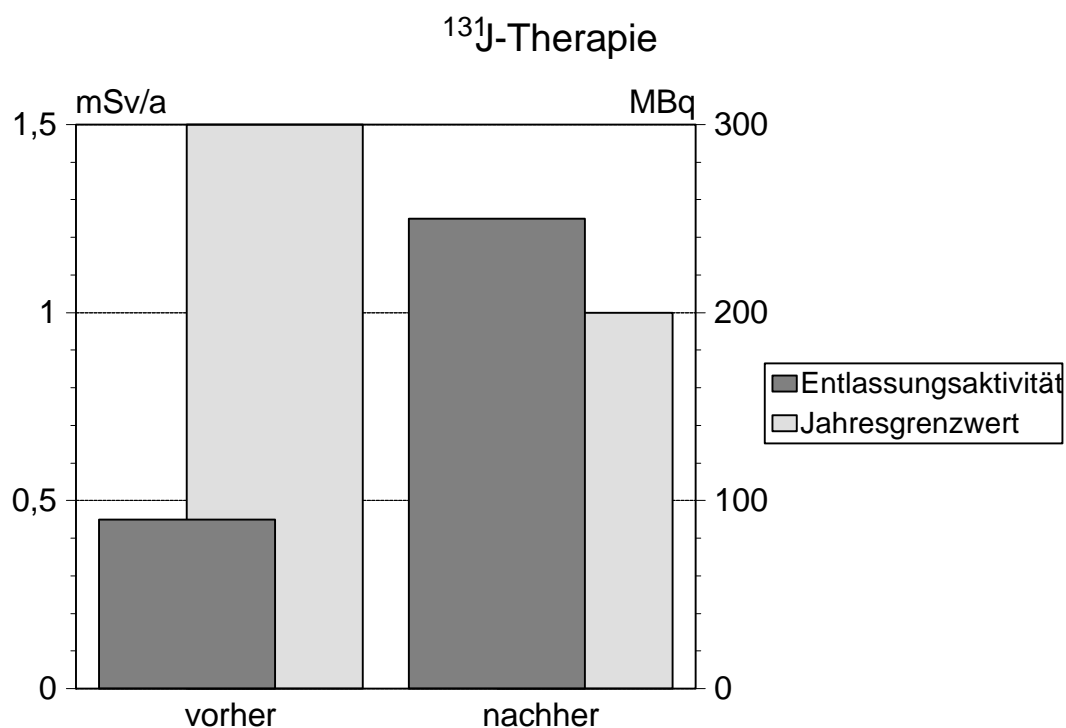


Abb. 3: Vorgesehene Änderung des Jahresgrenzwertes der maximal zulässigen externen Strahlenbelastung der Bevölkerung sowie empfohlene Änderung der Entlassungsradioaktivität nach einer Therapie mit Radiojod durch die deutsche Strahlenschutzkommission

## Der Weg durch die Instanzen

Nun kurz eine Erläuterung über den Weg von Strahlenschutzmaßnahmen von der Empfehlung bis in die Praxis (s. Abb. 4) und weitere Beispiele für die Geschwindigkeit der Anpassung. Die Empfehlungen der ICRP 26 wurden 1977 veröffentlicht, 1980 in eine europäische Richtlinie übernommen und haben zum 1.11.1989 Eingang in die deutsche Strahlenschutzverordnung gefunden [ICRP 26 1977, EG 1980, StrlSchV 1989]. Die neuen Empfehlungen der ICRP 60 wurden 1991 veröffentlicht und 1996 in eine europäische Richtlinie übernommen. Die Anpassung der deutschen Strahlenschutzverordnung steht noch aus [ICRP 60 1991, EU 1996].

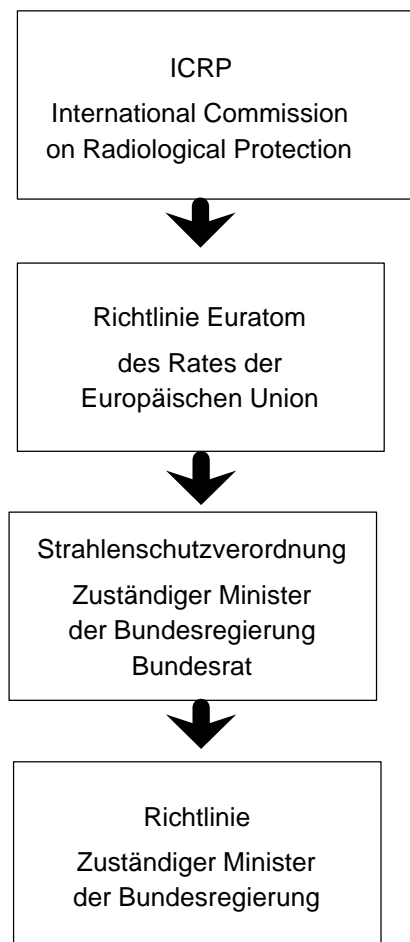


Abb. 4: Weg von Maßnahmen zum Strahlenschutz von der internationalen Empfehlung bis in die deutsche Anwendung.

Die Frage, wie die ICRP zu ihren Empfehlungen findet, und wer personell dahinter steht, soll hier ausgeklammert werden. Der Vortrag Köhnleins dazu ist unverändert aktuell [Köhnlein 1996]. Anzumerken ist, daß die jeweiligen Empfehlungen der ICRP für die nachgeordneten Instanzen im Grundsatz keine Überraschung darstellen, da die Vorentwürfe auch auf diesen Ebenen diskutiert werden.

## **Grenzwerte im Katastrophenschutz**

Nun soll zunächst der Umgang mit Grenzwerten im Bereich hoher Dosen an Beispielen erläutert werden. Aus naheliegenden Gründen im Wortsinne wird das am Beispiel der Planung des Katastrophenschutzes um die Atommeiler Biblis gezeigt.

Hohe Dosen bedeutet hier so hohe Dosen, daß deterministische Effekte zu befürchten sind. Bei einer deterministischen Strahlenwirkung besteht ein Zusammenhang zwischen der Höhe der Dosis und der Schwere der dadurch ausgelösten Krankheit, im wesentlichen durch die zunehmende Abtötung von Zellen. Für solche Effekte gibt es Dosis-schwellen. Im Bereich niedrigerer Dosen, auch unterhalb der Schwelle für deterministische Wirkungen, können ionisierende Strahlen stochastische Effekte auslösen, wie z.B. Mutationen des Erbgutes und die Auslösung von Tumoren. Für diese Effekte gibt es keine Schwelle. Die Schwere der Erkrankung hängt nicht von der Dosis ab. Eine zunehmende Dosis bedeutet eine Zunahme der Wahrscheinlichkeit von stochastischen Effekten beim Individuum und eine zunehmende Schadenserwartung im Kollektiv.

Durch Grenzwerte im Katastrophenschutz sollen deterministische Effekte, im Extremfall der Tod durch eine akute Strahlenkrankheit, vermieden werden. Unterhalb der Schwelle deterministischer Effekte werden teilweise Schadenserwartungen durch eine erwartete Kollektivdosis mit den Schäden durch die vorgesehene Maßnahme verglichen. Daraus ergeben sich deutliche Unterschiede zwischen Maßnahmen, denen nur eine relativ geringe Störung des öffentlichen Lebens zugeschrieben werden, wie z.B. „Verbleiben im Haus“, und anderen Maßnahmen wie „Evakuierung“ (s. Tab. 1). Unterhalb des unteren Richtwertes wird eine Maßnahme für unnötig gehalten, oberhalb des oberen Richtwertes für unumgänglich, dazwischen befindet sich ein Ermessensspielraum. Ob allerdings im Fall einer Katastrophe die Bevölkerung diesen Spielraum gutheißt, darf bezweifelt werden.

Maßnahme	Dosis in mSv					
	Ganzkörper (äußere Bestrahlung und Inhalation)		Schilddrüse (Inhalation)		Lunge oder jedes bevorzugt bestrahlte Einzelorgan* (äußere Bestrahlung und Inhalation)	
	unterer Richtwert	oberer Richtwert	unterer Richtwert	oberer Richtwert	unterer Richtwert	oberer Richtwert
Verbleiben im Haus	5	50	(50)	(250)	50	250
Einnahme von Jodtabletten	–	–	200	1000	–	–
Evakuierung	100	500	(300)	(1500)	300	1500

\* mit Ausnahme der Haut

Tab. 1: Dosisrichtwerte für einige Maßnahmen im Katastrophenschutz in der Umgebung von Atomkraftwerken [aus Burkart 1993]

Obwohl deutsche Atomkraftwerke (AKW) bekanntlich völlig sicher, sogar totsicher sind, gibt es dennoch Vorbereitungen für die nicht zu erwartenden Katastrophen. Die ins Auge gefaßten Zonen für eine Evakuierung (bis 25 km Abstand vom AKW) decken allerdings bei weitem nicht die Flächen ab, die bei möglichen Freisetzungen unter Einhaltung der Richtwerte evakuiert werden müßten (s. Abb. 5). Für die höchste Freisetzungskategorie errechnen sich beachtliche Flächen um 10.000 km<sup>2</sup>.

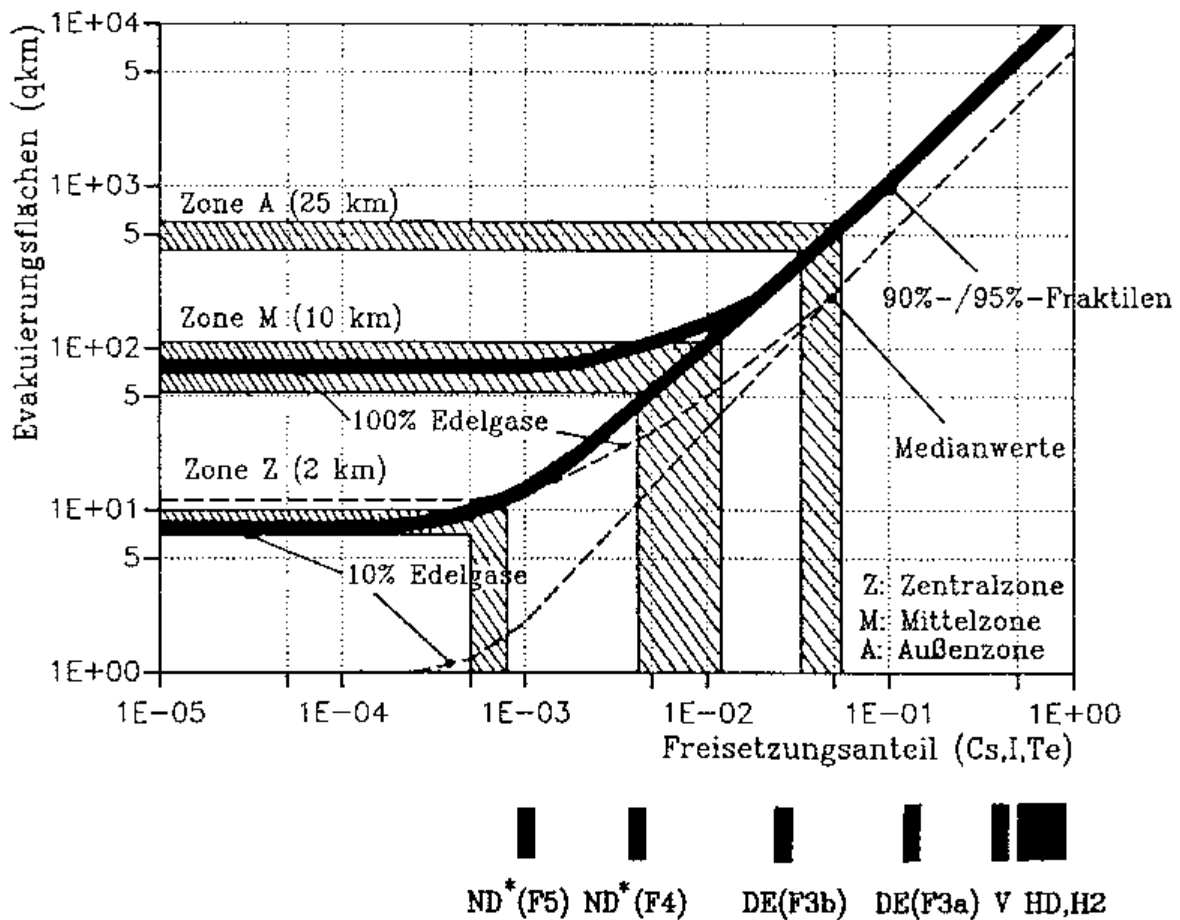


Abb. 5: Abhängigkeit der nach den Richtwerten zu evakuierenden Flächen vom Ausmaß der Freisetzung für das Beispiel AKW Biblis [aus Ehrhardt, Qu 1993]. Die schwarzen Balken unter der X-Achse kennzeichnen die Bereiche einer Freisetzung, die in verschiedenen Freisetzungskategorien für möglich gehalten werden. Bitte beachten: Beide Achsen logarithmisch!

Für die Evakuierung sind die Richtwerte unter der Annahme abgeleitet worden, daß diese Maßnahme etwa 1 pro Tausend Todesopfer fordert. Die Schadens erwartung bei Verzicht auf die Evakuierung soll diesen Wert nicht überschreiten. Übertragen auf das Beispiel Tschernobyl bedeutete dies, daß ca. 135 Tote bei der Evakuierung zu erwarten gewesen wären. Tatsächlich war bei der Evakuierung der 25 km Todeszone kein Todesopfer zu beklagen gewesen. Eine niedrigere Schadens erwartung für die Evakuierung erz wänge einen entsprechend niedrigeren Grenzwert. Entsprechend eindrucksvoll weitete sich auch die zu evakuierende Zone und die Anzahl der Betroffenen aus.



## **Grenzwerte nach einer Katastrophe**

Wenn sich an eine Evakuierung die Frage nach einer dauerhaften Umsiedlung anschließt, müssen auch niedrigere Dosen mit stochastischen Wirkungen in die Entscheidung einbezogen werden. Die Problematik von Grenzwerten für stochastische Wirkungen wird zwar im Teil II dediziert abgehandelt, dennoch soll unter dem Teil I das Beispiel der Umsiedlung demonstriert werden, weil es eine unmittelbare Folgeerscheinung einer ungeplanten Freisetzung hoher Dosen darstellt und insoweit zur Bewältigung einer Katastrophe gehört.

Nach den Empfehlungen der ICRP werden dazu Optimierungsrechnungen vorgenommen. Zunächst wird errechnet, welche Kosten eine Maßnahme, im Beispiel die dauerhafte Umsiedlung der Bevölkerung, in Abhängigkeit vom Eingreifrichtwert verursacht (s. Abb. 6). Wegen der mit abnehmendem Richtwert überproportional wachsenden Fläche und damit Zahl der betroffenen Einwohner wachsen entsprechend auch die Kosten und erreichen mit Beträgen in Milliardenhöhe auch für eine gesunde Wirtschaft rasch ruinöse Dimensionen.

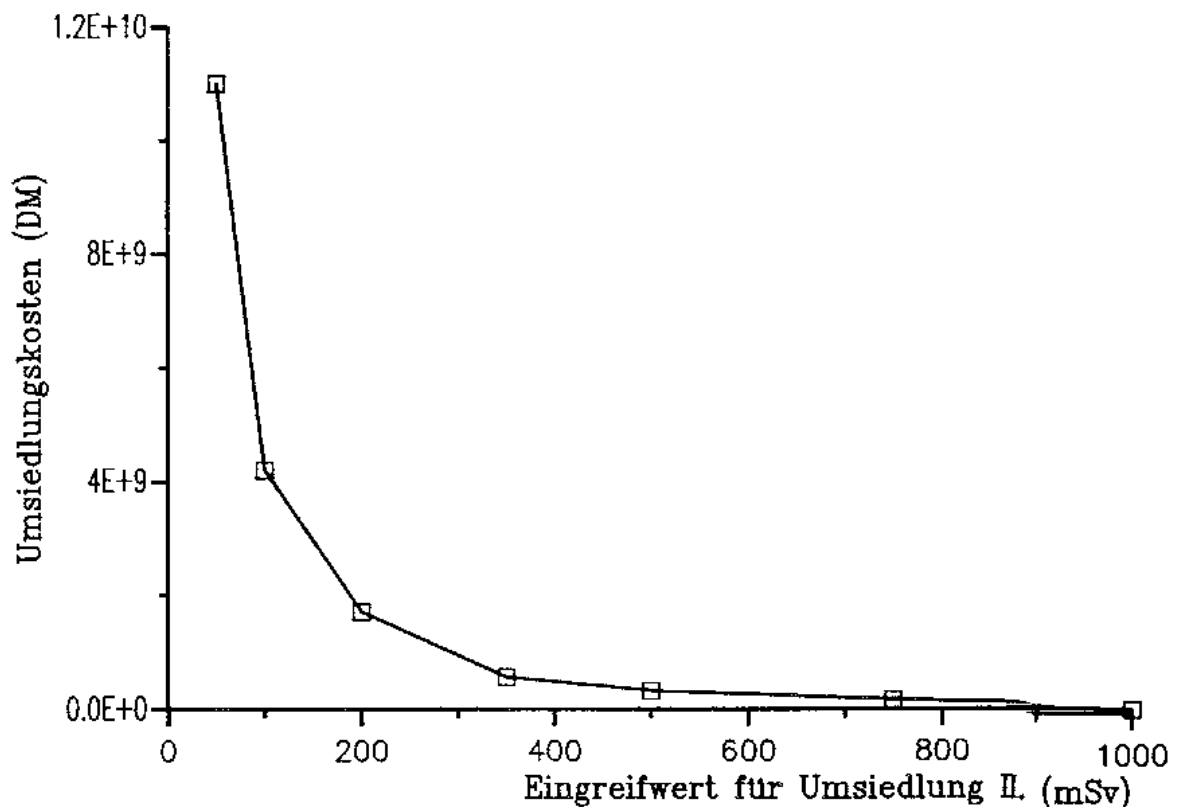


Abb. 6: Kosten einer Umsiedlung in Abhängigkeit vom Eingreifwert [aus Ehrhardt, Qu 1993].

Dagegen werden die Kosten verrechnet, die der mit einem Eingreifwert verbundenen Kollektivdosis und Schadenserwartung zugeschrieben werden. In der Literatur werden dazu sehr divergente Werte präsentiert. In der Regel wird kalkuliert, welchen Schaden der Gesellschaft durch einen Todesfall an Krebs entsteht. Damit werden die zahlreichen nicht tödlichen Gesundheitsschäden vernachlässigt, wie z.B. ein nicht zum Tode führender Brustkrebs. Als Kosten geht in diese Rechnung vor allem der Ausfall von Erwerbstätigen ein. Der Tod eines Rentners vermindert in einer solchen Kostenrechnung ebenso den finanziellen Schaden wie der Tod eines jüngeren Arbeitslosen. Der Rechenwert  $\alpha$  in Abb. 7 (im Beispiel 10.000 DM pro Personen-Sievert Kollektivdosis) ist deshalb sehr stark von den angesetzten wirtschaftlichen Rahmenbedingungen abhängig. So verwendete ICRP 37 [1983] für Beschäftigte auf der Basis des Jahres 1982 einen Wert von 10.000\$ bis 20.000\$ pro Personen-Sievert. Zu dieser Zeit rechnete die ICRP mit 0,01 Krebstoten pro Personen-Sievert bei Beschäftigten und mit 0,0125 in der Bevölkerung. Es zeigt sich, daß sich mit diesen Annahmen beim Vergleich der Aufwendungen und Einsparungen kein deutlichen Optimum finden läßt (s. Abb. 7).

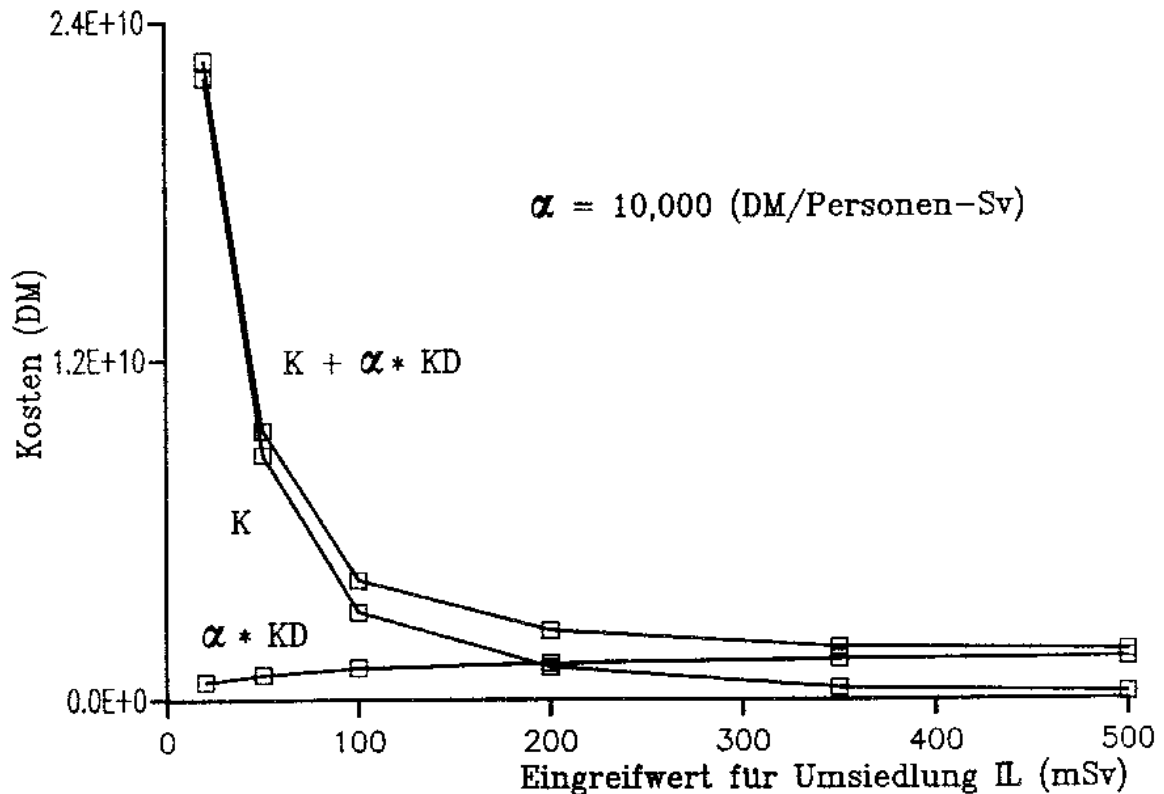


Abb. 7: Gegenüberstellung der durch eine Umsiedlung verursachten und eingesparten Kosten in Abhängigkeit vom Eingreifwert [aus Ehrhardt, Qu 1993]

Deshalb wurden mit einer Modifikation die Kosten pro eingesparter Kollektivdosis zusätzlich von der eingesparten Individualdosis abhängig gemacht (s. Abb. 8). Ausgehend von einem Grenzwert von 1 mSv pro Jahr wurde bis zu einer 70 Jahre-Folgedosis von 70 mSv ein Bewertungsfaktor von Eins belassen. Höhere Individualdosen wurden progressiv höher gewichtet. Ein ähnliches Vorgehen hatte auch schon die ICRP 55 [1989] vorgeschlagen, als sie für eine Individualdosis von 5-15 mSv 40.000\$ und darüber 80.000\$ pro Personen-Sievert vorgeschlagen hatte, wobei allerdings für Individualdosen unter 5 mSv nur noch 0\$ eingesetzt worden waren.

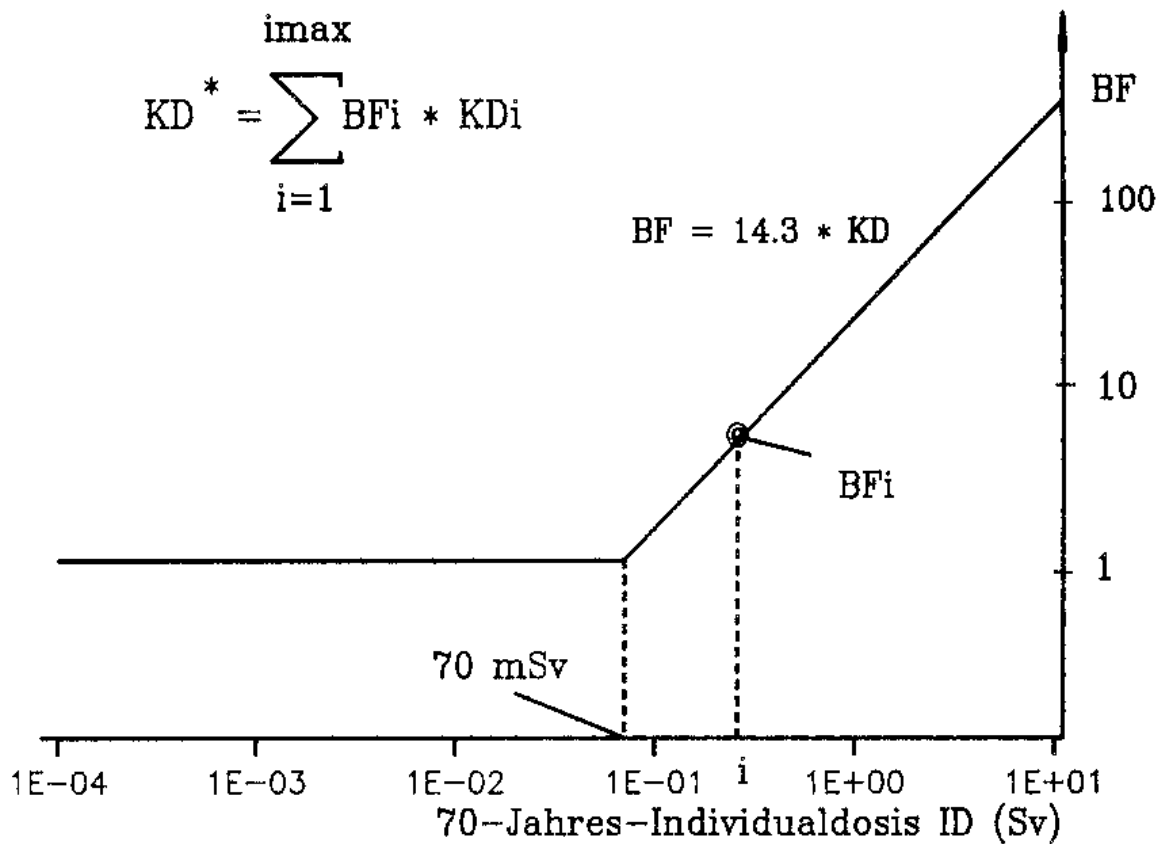


Abb. 8: Bewertungsfunktion der Individualdosis  
Bitte beachten: Beide Achsen logarithmisch!

Abb. 9 demonstriert, daß solche Annahmen zu einem deutlich ausgeprägteren Minimum (als monetäres Optimum) führen, so daß sich scheinbar objektiv ein optimaler Eingreifrichtwert für Umsiedelung ableiten läßt.

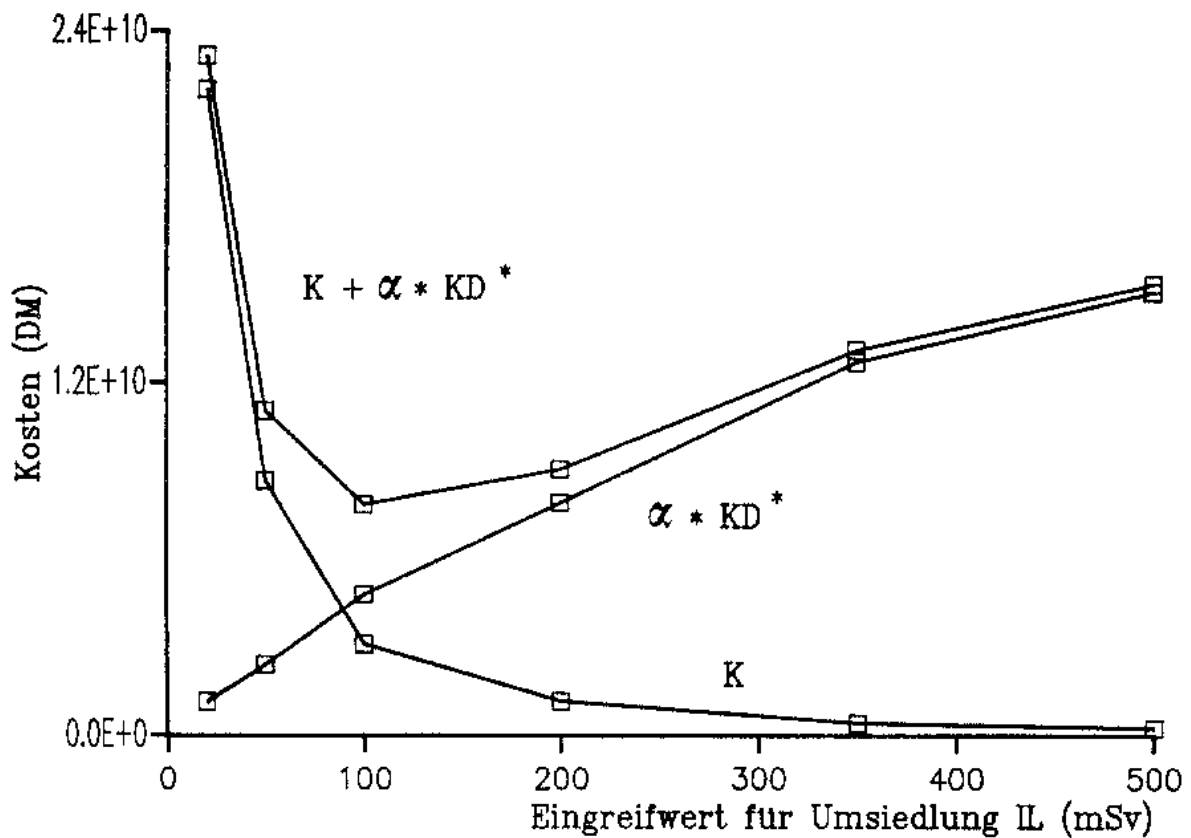


Abb. 9: Gegenüberstellung der durch eine Umsiedlung verursachten und eingesparten Kosten in Abhängigkeit vom Eingreifwert [aus Ehrhardt, Qu 1993]

Es ist verständlich, daß solche Überlegungen nicht vor einer breiten Öffentlichkeit, sondern im kleinen Kreis diskutiert werden, im vorliegenden Fall z.B. auf der Klausurtagung der Strahlenschutzkommission am 7./8. November 1991. Denn die ohnehin in der Bevölkerung virulenten Bedenken zur Unsicherheit von AKW könnten dadurch vertieft werden.

Was meinte ein Innenminister einer früheren Bundesregierung zu den Sicherheitsbedürfnissen der Bevölkerung?

In den Sicherheitsbedürfnissen der Bevölkerung drücken sich Befürchtungen und Ängste aus, die man ernst nehmen muß und nicht einfach als scheinhaft und unreal abtun darf.

Ich muß allerdings um Nachsicht bitten, daß ich zwei verschiedene Debatten verwechselt habe, die um die Innere Sicherheit und die Verwendung der Atomenergie. Es ist schon bemerkenswert, daß die obige Äußerung zur Inneren Sicherheit gefallen ist, zur Atomenergie dagegen verlautete aus derselben Bundesregierung:

Man muß Angstpanik und Sicherheitshysterie mit sachlichen und rationalen Argumenten entgegnetreten und klar machen, daß man in einer Risiko-Gesellschaft lebt.

(Aus: Ronneberger, Klaus: Die Stadt als Beute, dem ich diesen interessanten Vergleich der politischen Bewertung verdanke.)

## Literatur

Burkhardt, K. 1993

Deutsches Konzept des Notfallschutzes

In: SSK 1993, S. 63ff.

EG 1980

**E**uropäische **G**emeinschaft

Richtlinie des Rates vom 15. Juli 1980 zu Änderung der Richtlinien, mit denen die Grundnormen für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung und der Arbeitskräfte gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen festgelegt wurden

(80/836/Euratom)

Amtsblatt der EG L 246, 23. Jahrgang v. 17.9.1980

**Ehrhardt, J., Qu, J. 1993**

Neue Ergebnisse von Studien mit dem Programmsystem COSYMA und ihre Relevanz für den Strahlenschutz

In: SSK 1993, S. 121ff.

EU 1996

**E**uropäische **U**nion

Richtlinie 96/29/Euratom des Rates vom 13. Mai 1996

zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen

ABl. Nr. L 159 vom 29.06.1996, S. 1-114

[http://europa.eu.int/eur-lex/de/lif/dat/de\\_396L0029.html](http://europa.eu.int/eur-lex/de/lif/dat/de_396L0029.html)

ICRP 26 1977

**I**nternational **C**ommission on **R**adiological **P**rotection

Publication 26

Recommendations of the International Commission on Radiological Protection

Annals of the ICRP Vol. 1, No. 3, Pergamon Press, Oxford, New York

ICRP 37 1983

**I**nternational **C**ommission on **R**adiological **P**rotection

Publication 37

Cost-Benefit Analysis in the Optimization of Radiation Protection

Annals of the ICRP Vol. 10, 2/3, Pergamon Press, Oxford, New York

ICRP 55 1989

International **C**ommission on **R**adiological **P**rotection  
Publication 55  
Optimization and Decision-Making in Radiological Protection  
Annals of the ICRP Vol. 20, 1, Pergamon Press, Oxford, New York

ICRP 60 1991

International **C**ommission on **R**adiological **P**rotection  
Publication 60  
1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection  
Annals of the ICRP Vol. 21, No. 1-3, Pergamon Press, Oxford, New York

**Köhnlein, W. 1996**

Strahlenschutz: Schutz der Strahlen oder Schutz vor Strahlen?  
Vortrag im Interdisziplinären Seminar der Universität Marburg WS 96/97 am 02.12.1996  
<http://staff-www.uni-marburg.de/~kuniH/ISEM/themen/docs/icrp.pdf> (92 kB)

SSK 25 1993

Veröffentlichungen der **S**trahlenschutz**k**ommssion, Band 25  
Notfallschutz und Vorsorgemaßnahmen bei kerntechnischen Unfällen  
Gustav Fischer, Stuttgart, Jena, New York

SSK 1996

Empfehlung der **S**trahlenschutz**k**ommssion  
Strahlenschutzgrundsätze für die Radiojod-Therapie  
verabschiedet in der 142. Sitzung am 5./6.12. 1996  
SSK-Geschäftsstelle beim Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)  
[http://www.ssk.de/1996/radiod\\_v.htm](http://www.ssk.de/1996/radiod_v.htm)

StrlSchV 1989

Zweite Verordnung zur Änderung der Strahlenschutzverordnung vom 18.Mai 1989  
BGBl I S. 943. Bekanntmachung der ab 1.November 1989 geltenden Fassung vom 30.Juni  
1989. BGBl. I S. 1321, berichtigt 16.10.1989 BGBl. I S. 1926