

42. Nygren, H., Dahlén, G., Nilsson, L.-Å. (1979): Human complement activation by lipopolysaccharides from *Bacteroides oralis*, *Fusobacterium nucleatum*, and *Veillonella parvula*. *Infect Immun* 26: 391-396.
43. Oswald, R. J., Cohn, S. A. (1975): Systemic distribution of lead from root canal fillings. *J Endod* 1: 59-63.
44. Pulver, W. H., Taubman, M. A., Smith, D. J. (1978): Immune components of human dental periapical lesions. *Arch Oral Biol* 23: 435-443.
45. Robinson, H. B. G., Boling, L. R. (1941): The anachoretic affect in pulpitis I: Bacteriologic studies. *J Am Dent Assoc* 28: 268-282.
46. Roitt, I. M., Lehner, T. (1980): Immunology of oral diseases. Blackwell, Oxford. Pp. 433-435.
47. Schein, B., Schilder, H. (1975): Endotoxin content of endodontically involved teeth. *J Endod* 1: 19-21.
48. Silver, J. G., Martin, A. W., McBride, B. C. (1977): Experimental transient bacteraemias in human subjects with varying degrees of plaque accumulation and gingival inflammation. *J Clin Periodont* 4: 92-99.
49. Slots, J. (1979): Subgingival microflora and periodontal disease. *J Clin Periodont* 6: 351-382 (overzichtsartikel).
50. Smith, L. S., Tappe, G. D. (1962): Experimental pulpitis in rats. *J Dent Res* 41: 17-22.
51. Socransky, S. S. (1979): Criteria for the infectious agents in dental caries and periodontal disease. *J Clin Periodont* 6 (extra issue): 16-21.
52. Spångberg, L., Rutberg, M., Rydinge, E. (1979): Biologic effects of endodontic antimicrobial agents. *J Endod* 5: 166-175.
53. Sundqvist, G. (1976): Bacteriological studies of necrotic dental pulps. Academisch proefschrift, Umea.
54. Sundqvist, G. K., Eckerbom, M. I., Larsson, A. P., Sjögren, U. T. (1979): Capacity of anaerobic bacteria from necrotic dental pulps to induce purulent infections. *Infect Immun* 25: 685-693.
55. Tanner, A. C. R., Haffer, C., Bratthall, G. T., Visconti, R. A., Socransky, S. S. (1979): A study of the bacteria associated with advancing periodontitis in man. *J Clin Periodont* 6: 278-307.
56. Thé, S. D. (1979): The solvent action of sodium hypochlorite on fixed and unfixed necrotic tissue. *Oral Surg* 47: 558-561.
57. Thoden van Velzen, S. K. (1973): Een inleiding tot de endodontie. Stafleu & Tholen, Leiden. Pp. 39, 51, 59-63.
58. Thoden van Velzen, S. K., Felkamp-Vroom, Th. M. (1977): Immunologic consequences of formaldehyde fixation of autologous tissue implants. *J Endod* 3: 179-185.
59. Thoden van Velzen, S. K., Duivenvoorden, H. J., Schuur, A. H. B.: Probabilities of success and failure in endodontic treatment. A Bayesian approach. Geaccepteerd voor publicatie *Oral Surg*.
60. Torabinejad, M., Bakland, L. K. (1978): Immunopathogenesis of chronic periapical lesions. A review. *Oral Surg* 46: 685-699 (overzichtsartikel).
61. Torabinejad, M., Kettering, J. D. (1979): Detection of immune complexes in human dental periapical lesions by anticomplement immunofluorescence technique. *Oral Surg* 48: 256-261.
62. Wesselink, P. R., Thoden van Velzen, S. K., Makes, P. Ch. (1978): Release of endotoxin in an experimental model simulating the dental root canal. *Oral Surg* 45: 789-795.
63. White, E. (1976): Microbiologic considerations in endodontics. In: Ingle, J. I. en Beveridge, E. E., Editors: *Endodontics*, 2e druk. Lea & Febiger, Philadelphia. Pp. 564-579.

Maart 1980.

Louwesweg 1,
1066 EA Amsterdam.

WAT IS 'VEILIG' EN HOE GROOT ZIJN 'RISICO'S' BIJ TOEPASSINGEN VAN IONISERENDE STRALING?*)

G. W. BARENDSSEN

*Uit het laboratorium voor Radiobiologie van de Universiteit van Amsterdam.
Uit het Radiobiologisch Instituut TNO te Rijswijk.*

Trefwoorden: Röntgenologie – Radiobiologie – Ioniserende straling

1. Inleiding

Voor een zinvolle discussie over de vraag of bepaalde toepassingen van ioniserende straling voldoende veilig zijn, is het van belang een aantal algemene aspecten van de begrippen 'veilig' en 'risico' te belichten. Deze algemene aspecten zijn interessant omdat ze een inzicht kunnen geven in de wijze

waarop bepaalde factoren die risico's beïnvloeden, worden gewaardeerd.

In de eerste plaats moet het begrip 'veilig' in verband worden gebracht met de aard van de gebeurtenis waarop het begrip wordt betrokken. Drie aspecten van de aard van de schade kunnen hierbij worden genoemd: men kan onderscheiden materiële, persoonsgebonden en relatie-gebonden schade. Aan materiële schade wordt meestal minder gewicht toegekend, mogelijk omdat men zich tegen de gevolgen ervan kan verzekeren. Bij persoonsgebonden schade kan men denken aan

Samenvatting:

Als gevolg van ontwikkelingen in de geneeskunde en techniek wordt de bevolking minder blootgesteld aan risico's. Mede als gevolg hiervan is de gemiddelde levensduur sterk gestegen tot boven de 70 jaar en de gemiddelde kans op overlijden door alle oorzaken samen is gedaald tot ongeveer 10^{-3} per jaar voor de bevolkingsgroep tussen 15 en 40 jaar. Dit heeft bijgedragen tot een veranderde appreciatie van het begrip 'veiligheid'. Om de risico's van blootstelling aan ioniserende straling te berekenen moeten de gegevens die voor verschillende groepen van personen beschikbaar zijn, worden geëxtrapoleerd naar de veel lagere doses die ontvangen worden ten gevolge van de natuurlijke straling en medisch-diagnostisch onderzoek. Op grond van deze extrapolaties zijn door de International Commission on Radiological Protection (ICRP) risicofactoren afgeleid voor de inductie van verschillende vormen van kanker en voor genetische effecten. Met deze factoren is het mogelijk de kans op schadelijke effecten van de lage dosis, ontvangen van natuurlijke straling, te berekenen.

*) Voordracht gehouden tijdens de voorjaarsvergadering 1980 van de Nederlandse Vereniging van Tandartsen op 18 april te Utrecht.

ziekte en dood. Bij relatie-gebonden schade kan men denken aan arbeid-problemen, sociale problemen of huwelijks- en gezinsproblematiek. In het verband met ons onderwerp zullen we ons bezig houden met persoons-gebonden risico's.

In relatie tot risico's van het optreden van ziekten kan worden gesteld dat er in de 20e eeuw en vooral in de laatste decennia een sterke verandering is opgetreden met betrekking tot de appreciatie van het begrip 'veilig'. Dit blijkt duidelijk uit tabel I en tabel II. Als

den door alle oorzaken samen is gedaald tot ongeveer 10^{-3} per jaar voor de bevolkingstussen 15 en 40 jaar. Dit heeft bijgedragen tot een veranderde appreciatie van het begrip 'veiligheid'. Verder heeft deze ontwikkeling tot gevolg gehad dat andere oorzaken een groot deel van de sterfte zijn gaan bepalen, met name hart- en vaatziekten (45%), kanker (26%), ziekten van de ademhalingsorganen (6,4%) en ongevallen (6,1%). In het verleden kwamen epidemieën, maar ook individuele ziekten zo frequent

duidelijk beeld. In de leeftijdsgroep van 15 tot 40 jaar wordt thans de kans op sterfte voornamelijk bepaald door ongevallen en kanker. Boven de 40 jaar stijgt de kans op sterfte langzaam en vervolgens aanzienlijk tot de orde van 10^{-3} per jaar voor personen van 70 jaar en ouder, met name door het optreden van kwaadaardige nieuwvormingen en ziekten van bloedsomlooporganen.

Wanneer we het begrip 'veilig' in verband met verschillende typen risico's nader beschouwen, dan blijkt dat nog een aantal algemene aspecten van belang zijn die ook een rol spelen bij discussies over de aanvaardbaarheid van toepassingen van ioniserende straling. Deze zijn samengevat in tabel III.

Tabel I. Enkele belangrijke doodsoorzaken in 1903 en 1972.

Categorie van doodsoorzaken	Sterfte per 100.000 der bevolking	
	1903	1972
Tuberculose	192	1,6
Infectieziekten (excl. tuberculose)	80	4,7
Kwaadaardige nieuwvormingen	100	197,5
Ziekten van bloedsomlooporganen	94	392
Ziekten van ademhalingsorganen	261	58
Ziekten van spijsverteringsorganen	202	27
Ziekten van urogenitaalorganen	52	19
Ongevallen, vergiftiging, geweld	39	55
Totale sterfte (incl. niet vermelde oorzaken)	1558	852

Bron: Centraal Bureau voor de Statistiek.

Tabel II. Gemiddeld aantal te verwachten levensjaren.

Sterftetafels	Bij de geboorte		Bij het bereiken van de leeftijd van 65 jaar	
	♂	♀	♂	♀
1840-1851	36,1	38,5	9,4	9,9
1870-1879	38,4	40,7	10,6	11,0
1900-1909	51,0	53,4	11,6	12,3
1931-1940	65,7	67,2	12,8	13,3
1951-1955	70,9	73,5	14,1	14,9
1966-1970	71,0	76,4	13,7	16,4

Bronnen: C.B.S. Sterftetafels voor Nederland '61-'65, 's-Gravenhage 1967. Statistisch Zakboek 1973, C. B. S., Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage 1974.

gevolg van ontwikkelingen in de geneeskunde en de techniek in de laatste decennia wordt de bevolking in vele ontwikkelde en welvarende landen minder blootgesteld aan een aantal risico's, o.a. infectieziekten, natuurrampen, arbeidsrisico's. Mede als gevolg hiervan is de gemiddelde levensduur sterk gestegen tot boven de 70 jaar en de gemiddelde kans op overlij-

den voor dat velen zich machteloos konden voelen in pogingen ze te voorkomen. Ieder individu wist dat het leven grote risico's inhield. Door de verbeteringen van de hygiëne en bestrijdingsmogelijkheden van ziekten is dit gevoel van overgeleverd te zijn aan risico's of noodlot sterk verminderd. Daarvan geeft de tabel met gegevens over de gemiddelde levensduur een

Tabel III. Typen risico's.

- | |
|----------------------------------|
| A. MODIFICEERBAAR |
| 1. Individuele actie |
| 2. Collectieve actie |
| 3. Niet |
| B. MOGELIJKHEID TOT VERMINDERING |
| 1. Onbeperkt |
| 2. Beperkt |
| C. EXPRESSIE VAN HET EFFECT |
| 1. Onmiddellijk |
| 2. Latente periode |

Onder A is onderscheid aangegeven met betrekking tot de mogelijkheid van de mens zelf een risico te kunnen beïnvloeden. De kans op het ontstaan van kanker en ziekten van hart- en bloedvaten is modificeerbaar, b.v. door het roken of door een hoog vetgehalte van de voeding. Ook door collectieve acties b.v. vermindering van energieverbruik en daarmee samenhangende luchtverontreiniging, kunnen risico's worden beïnvloed. Er bestaan echter ook schadelijke factoren, b.v. natuurlijke straling, die niet of weinig kunnen worden gemodificeerd. Onder B is een onderscheid aangeduid dat bij beslissingen over bepaalde maatregelen een rol kan spelen. Soms is het mogelijk een bepaald risico volledig te elimineren. We kunnen thans stellen dat met betrekking tot bepaalde infectieziekten, zoals pokken, chole-

ra, tyfus, poliomyelitis, een zo geringe kans op het krijgen van deze ziekten is bereikt, b.v. door optimaal toegepaste vaccinatie, dat men met dit risico nog maar weinig rekening houdt. Men zou in dit verband kunnen spreken van absolute veiligheid. Bij ziekten als kanker, of hart- en vaatziekten en ook bij ongelukken, kan men wel proberen de kans te verlagen maar geheel nul zal deze kans niet worden. Hierbij moet men de relatieve kans in beschouwing nemen en bij het beïnvloeden van die kans kan het gedrag van de mens een grote invloed uitoefenen.

Problemen met betrekking tot de expressie van effecten kunnen eenvoudig worden geïllustreerd aan een risico waarbij zowel beheersbare als niet-beheersbare factoren een rol spelen, n.l. het verkeer. Voor autorijden kan een kans voor het niet-beheersbare deel van $1/10^8$ per km in een auto afgelegde weg worden berekend (tabel IV). Als

we een afstand van 100 km per auto af moeten leggen, betekent dit dat we gemiddeld een risico van $1/10^6$ gaan lopen om een dodelijk ongeluk te krijgen. Als we echter die 100 km gereden hebben dan is het risico voorbij. Bij blootstelling aan een zekere dosis straling, bijvoorbeeld door een röntgenfoto van de longen, zou een zelfde orde van grootte van risico kunnen optreden, maar pas 50 jaar later weten we of dit gevolg inderdaad is opgetreden. Onzekerheid blijft bovendien bestaan over het directe causale verband, want overlijden aan longkanker kan ook het gevolg zijn van andere oorzaken b.v. roken. Het enige wat we kunnen zeggen van blootstelling aan straling is dat een risico, dat reeds door andere, deels onbekende en deels bekende oorzaken aanwezig is, met een zekere marge is verhoogd. Hetzelfde geldt voor het roken van sigaretten.

Nog één andere factor moet tenslotte

worden genoemd die van belang is bij de appreciatie of afweging van een risico van straling. Dit betreft het feit dat niet altijd de voordelen van toepassingen bij dezelfde persoon terecht komen als de persoon die aan straling wordt blootgesteld en daardoor een zeker, hoewel misschien klein, risico loopt. Dit onderscheid wordt duidelijk als we vergelijken de stralingsdosis die een patiënt ontvangt bij een röntgenonderzoek dat in zijn eigen belang wordt verricht, met de stralingsdosis die ontvangen zou kunnen worden door personen die in de buurt van een kernenergie-centrale wonen.

2. Kwantitatieve evaluatie van de kans op effecten van kleine doses straling

Uit de voorgaande discussie bleek duidelijk dat de begrippen 'veilig' en 'risico' een aantal aspecten vertonen die moeilijk te kwantificeren zijn. Toch is het voor een afweging van voordelen en nadelen van toepassingen van ioniserende straling nodig om de kansen op effecten getalsmatig weer te geven. Een schatting van de grootte van risico's is op vele andere gebieden toegepast om een afweging tegen voordelen mogelijk te maken en zal in de toekomst op veel meer situaties toegepast moeten worden. Daarbij kunnen we denken aan immunisatie tegen poliomyelitis maar ook aan aanlanding van olie en steenkool in het Rotterdamse havengebied en de uitvoering van de deltawerken in Zeeland.

Als belangrijkste gevolgen van kleine doses straling, d.w.z. 10 rad of minder, worden algemeen het ontstaan van kanker en genetische afwijkingen in aanmerking genomen. In deze discussie zullen we met betrekking tot de schatting van risico's de aandacht in het bijzonder op het ontstaan van kanker richten. Daarbij kunnen we stellen dat bij uniforme bestraling van het hele lichaam genetische effecten een kleinere kans op ernstige gevolgen bijdragen dan carcinogene effecten.

Gegevens over het ontstaan van kanker bij de mens ten gevolge van blootstelling aan straling zijn met name de laatste twintig jaar verkregen voor een aantal groepen personen. De belang-

Tabel IV. Gegevens betreffende risico's van autoverkeer.

In 1977 zijn in Nederland 2583 personen overleden door verkeersongevallen (64476 personen gewond).

In personenauto's overleden 719 bestuurders en 485 passagiers, totaal 1204 personen.

Aantal auto's $3,8 \times 10^6$, totaal werden 54×10^9 km afgelegd.
Overleden per km $2,2 \times 10^{-8}$.

Door 'schuld van anderen' $\sim 1 \times 10^{-9}$ /km.

Gemiddeld wordt per jaar per Nederlander 4000 km afgelegd met een berekend risico van 4×10^{-5} /jaar.

Gedurende 75 jaar, gemiddeld 4000 km/jaar per Nederlander, komt dit overeen met een totaal risico van $3,0 \times 10^{-3}$ op overlijden door auto-ongelukken waar 'eigen voorzichtigheid' niets aan kan veranderen.

Tabel V. Risicofactoren voor overlijden aan verschillende typen kanker door ioniserende straling.

Orgaan/weefsel	Risico per rem	Risicoperiode (jaar)	Risico per rem per jaar gedurende de risicoperiode*)
Beenmerg	$20/10^6$	20	$1.0/10^6$
Long	$20/10^6$	40	$0.5/10^6$
Bot	$5/10^6$	40	$0.1/10^6$
Borst (vrouwen)	$65/10^6$	40	$1.6/10^6$
Schildklier	$5/10^6$	40	$0.1/10^6$
Andere organen samen	$50/10^{6**})$	40	$1.2/10^{6**})$
Totaal	$130/10^{6**})$		

*) Afgeronde waarden per rem stralingsdosis.

**) Verondersteld wordt dat individuele organen hoogstens een bijdrage leveren van 1/5 van deze waarde.

***) Het totaal is voor een gemiddelde bevolking (mannen en vrouwen) berekend door de kans op borstkanker voor de helft mee te tellen.

rijkste serie gegevens is verkregen door onderzoek van overlevenden in Hiroshima en Nagasaki, die in 1945 blootgesteld werden aan straling van atoombommen. Van deze bevolking zijn sinds 1946 ongeveer 45.000 personen, die doses tussen 1 en 1000 rad hadden ontvangen, nauwkeurig gevolgd en vergeleken met een groep van ongeveer 35.000 personen in dezelfde steden die niet bestraald waren of slechts heel geringe doses hadden ontvangen. Daarnaast zijn gegevens verkregen over groepen patiënten die voor bepaalde ziekten met straling werden behandeld, over groepen personen die in industrieën werkzaam waren waar met radioactieve stoffen werd gewerkt, over een groep radiologen die door hun werk aan straling werden blootgesteld en over groepen mijnwerkers die tijdens hun werk radioactieve gassen hadden ingeademd. Van de verschillende soorten kanker waarover gegevens beschikbaar zijn, zullen slechts enkele aspecten worden genoemd.

Het is een algemene observatie dat na bestraling of blootstelling aan andere agentia een aantal jaren verloopt voordat kanker wordt ontdekt. Deze periode noemt men de latente periode, welke voor leukemie minimaal enkele jaren bedraagt maar voor andere typen kanker 10 jaar of meer kan bedragen. Dit betekent niet dat na 10 jaar alle door straling veroorzaakte gevallen van kanker reeds direct optreden, want nieuwe gevallen kunnen gedurende vele tientallen jaren na bestraling nog worden gevonden. Alleen van leukemie is bekend, o.a. door onderzoek van overlevenden in Hiroshima en Nagasaki, dat na ongeveer 25 jaar praktisch geen nieuwe gevallen meer worden waargenomen.

Experimenteel radiobiologisch onderzoek heeft inzicht verschaft over algemene aspecten van dosiseffect-relaties voor het ontstaan van kanker en over de invloed van de doseringssnelheid, van hersteleffecten en van andere factoren. Zonder deze inzichten is het niet mogelijk de beschikbare gegevens betreffende het ontstaan van kanker bij de mens na bestraling, waarbij veelal betrekkelijk hoge doses werden

ontvangen, te gebruiken voor schattingen van risico's voor inductie van tumoren door kleine doses straling. Bij de extrapolatie van de epidemiologische gegevens naar de lage doses die mensen jaarlijks ontvangen ten gevolge van natuurlijke straling en radioactiviteit in het milieu en ten gevolge van medischdiagnostisch onderzoek, moet rekening worden gehouden met accumulatie van schade en herstel op cellulair niveau, maar ook met andere factoren zoals de leeftijd waarop de stralingsdosis wordt ontvangen.

Na evaluatie van alle beschikbare gegevens samengevat in het meest recente rapport van de Wetenschappelijke Commissie van de Verenigde Naties over effecten van straling (UNSCEAR) kan worden gesteld dat bij lage doses (< 10 rad), per rad ontvangen straling een kans ontstaat van 20 per 10^6 personen op het optreden van leukemie. Dit komt overeen met gemiddeld één per 10^6 personen per jaar over een risicoperiode van ongeveer 20 jaar. Deze waarde wordt o.a. gebruikt in de meest recente aanbevelingen van de Internationale Commissie voor Stralingsbescherming (ICRP).

Voor het ontstaan van borstkanker bij vrouwen die aan straling werden blootgesteld, blijken vrij grote verschillen in het risico te worden gevonden, variërend van 50 per 10^6 personen per rad, afgeleid van gegevens uit Japan, tot 200 per 10^6 personen per rad, afgeleid van gegevens over groepen patiënten in westerse landen.

Voor het ontstaan van botkanker zijn o.a. gegevens verkregen betreffende groepen personen die met radiumhoudende verf lichtgevende cijfers aanbrachten op wijzerplaten van horloges. Opname vond plaats via de mond en de aanwezigheid van radium, dat alfa-deeltjes uitzendt, bleek nog vele jaren later aantoonbaar. De kans op botkanker afgeleid uit deze en andere gegevens, bedraagt per rad ongeveer 5 per 10^6 personen.

Samenvattend kan worden gesteld dat de ICRP in recente aanbevelingen betreffende beperking van stralingsdoses, voor de kans op overlijden na blootstelling aan röntgen- of gammastraling als gemiddelde over alle leef-

tijden, een waarde gebruikt van 100 per 10^6 personen per rad voor alle typen van kanker samen. Voor bestraling in de zeer gevoelige periode voor de geboorte is deze waarde waarschijnlijk nog een factor twee tot drie hoger. Een samenvatting van de risicofactoren is gegeven in tabel V. In deze tabel is de eenheid rem gebruikt om aan te geven dat met een hogere effectiviteit van b.v. alfa-straling of neutronen rekening is gehouden.

3. Effecten van natuurlijke straling

Alle mensen ontvangen gedurende hun hele leven doses straling afkomstig van natuurlijke bronnen. Met behulp van de kennis over de ontvangen stralingsdoses samengevat in tabel VI en de risicofactoren in tabel V is het mogelijk een benadering te geven van de bijdrage van straling in het milieu aan het optreden van verschillende vormen van kanker bij de mens. Bij deze berekening moet met enkele beperkingen rekening worden gehouden en aan de resultaten mag geen grote nauwkeurigheid worden toegekend. Ook bij een onzekerheid van een factor 2 geven de resultaten toch inzicht in de orde van grootte van de bijdragen.

Zoals bekend mag worden verondersteld, komt kanker vooral voor bij oudere personen. Wanneer we aannemen dat de stralingsdosis ontvangen in de eerste vijftig levensjaren bijdraagt aan het optreden van kanker op latere leeftijd, dan kan de grootte van deze bijdrage van natuurlijke straling als volgt worden berekend. Op de leeftijd van vijftig jaar is totaal bij benadering een dosis van 50×100 mrem = 5 rem ontvangen. Voor de daarop volgende leeftijdsperiode kan dan een risico berekend worden door vermenigvuldiging van deze dosis met de risicofactor per jaar en per rem stralingsdosis ontvangen door het betreffende orgaan. Enkele resultaten zijn gegeven in tabel VII, kolom 3. Deze waarden kunnen worden vergeleken met de geregistreerde sterfte aan de verschillende vormen van kanker. Voor deze vergelijking zijn gegevens gebruikt die vermeld zijn in het jaarboek Kankeron-

Tabel VI. Stralingsdoses gemiddeld ontvangen door de bevolking in Europa en Noord-Amerika ten gevolge van verschillende bronnen.*)

	Jaarlijkse dosis in mrad	Opmerkingen
<i>Natuurlijke straling</i>		
Kosmische straling	28	Uniform over het lichaam
Radioactiviteit in het lichaam, o.a. K-40, C-14, Ra-226	22	Longen 30 mrad meer door inademing van Rn-222**)
Radioactiviteit in de bodem, o.a. U-238, Th-232	32	Uniform over het lichaam
	82	
<i>Door menselijke activiteiten veroorzaakte of bevorderde bestraling</i>		
Medische röntgendiagnostiek	50	Niet uniform over het lichaam
Radioactieve stoffen afkomstig van kernbomexplosies	3	
Reizen per vliegtuig	0,3	0,3 mrad per uur, 7×10^{11} passagier-kilometers/jaar
Gebruik van kunstmest	0,01	
Energieproductie kolencentrales	0,005	Wereldgebruik 3×10^9 ton/jaar
Gebruiksvoorwerpen en produkten (TV, horloges, etc.)	0,3	
Energieproductie kerncentrales	0,01	
Bouwmaterialen	0,3	Longen 30 mrad per jaar door inademing van Rn-222**)
	54-84	

*) Ontleend aan het United Nations Report, UNSCEAR, 1977.

**) Deze dosis wordt grotendeels afgegeven door alfastraling, waarvoor de effectiviteit hoger is dan die van röntgenstraling of gammastraling. Voor stralingsbeschermingsdoeleinden rekent men met een kwaliteitsfactor van 10-20.

derzoek en Kankerbestrijding 1974, ontleend aan publikaties van het Centraal Bureau voor de Statistiek. In de eerste kolom van tabel VIII zijn de absolute aantallen overleden personen in Nederland in 1973 gegeven en in de tweede kolom de sterfte in de groep personen tussen 50 en 54 jaar. Deze personen hebben in de voorafgaande 50 jaren gemiddeld ongeveer een dosis van 100 mrem per jaar ontvangen van de natuurlijke straling. In kolom 4 is de mogelijke relatieve bijdrage van deze natuurlijke straling in verhouding tot

de waargenomen sterfte gegeven in procenten. Hieruit blijkt dat volgens deze berekening grote verschillen worden gevonden voor verschillende soorten kanker en voor mannen in vergelijking met vrouwen, met variaties van enkele tienden van procenten tot enkele procenten. Wanneer deze berekening wordt uitgevoerd voor personen in hogere leeftijdsgroepen dan nemen deze percentages af omdat de geregistreerde frequenties veel sterker stijgen dan de berekende bijdragen van de natuurlijke straling. Voor personen

in lagere leeftijdsgroepen nemen de berekende percentages voor de bijdragen van natuurlijke straling toe omdat de geregistreerde sterfte waarden sneller afnemen dan de berekende bijdragen van straling. Wanneer gemiddelden over de totale bevolking en alle leeftijden worden berekend, komt men voor alle soorten kanker samen op waarden van ongeveer 0.6 procent voor mannen en 1.0 procent voor vrouwen.

Hoewel er geen grote nauwkeurigheid aan mag worden toegekend, kunnen

Tabel VII. Berekende bijdrage van 100 mrem per jaar natuurlijke straling aan de kans op overlijden aan verschillende vormen van kanker.

Soort maligniteit	Man of Vrouw	Geregistreerde sterfte in 1973 in Nederland		Berekend voor 100 mrem/j. gedurende 50 j. per 10^5 pers.	Bijdrage van 100 mrem/j. natuurlijke straling aan geregistreerde sterfte (%)
		aantal in hele bevolking ($13,5 \times 10^6$ pers.)	per 10^5 personen (50-54 j.)		
Longen	M	5582	96	0,25	0,26
	V	372	10	0,25	2,5
Borst	V	2495	74	0,80	1,1
	M	282	1	0,05	5
Leukemie	V	230	1	0,05	5
	M	520	9	0,20*)	2,2
Maag	V	392	7	0,20*)	2,9
	M	1871	16	0,12	0,7
Totaal	V	119	10	0,12	1,2
	M	15773	234	1,45	0,6
	V	11434	216	2,25	1,0

*) Voor leukemie is met een risicoperiode van 20 jaar rekening gehouden.

uit de resultaten van deze berekeningen toch enkele conclusies worden getrokken. In de eerste plaats blijkt dat de milieufactor ioniserende straling hoogstens een kleine bijdrage levert tot de totale kanker-frequentie. Dit resultaat klopt goed met het feit dat onderzoek naar correlaties tussen de doses natuurlijke straling in verschillende gebieden op aarde en de sterfte aan kanker nooit een significante toename van kanker met de dosis hebben aangetoond, hoewel de doses in verschillende gebieden een factor 2 of meer verschillen. Een factor 2 in de natuurlijke straling zou volgens de gegeven berekeningen echter slechts een toename van kanker van de orde van één procent veroorzaken en een dergelijke variatie is niet significant vast te stellen. Een tweede conclusie die uit de resultaten van de berekeningen kan worden getrokken is dat het zeer onwaarschijnlijk lijkt dat de risicofactoren voor inductie van verschillende soorten kanker veel hoger zouden zijn dan thans voor stralingsbeschermingsdoeleinden wordt aangenomen. Wanneer de risicoschattingen een factor 10 of meer te laag zouden zijn, dan zou verwacht worden dat de bijdrage van

natuurlijke straling aan het ontstaan van kanker veel groter is en dat variaties in deze dosis duidelijke verschillen in de frequentie van kanker tussen verschillende gebieden op aarde zouden veroorzaken.

Een derde conclusie is dat, hoewel de bijdrage van natuurlijke straling aan het ontstaan van kanker verhoudingsgewijs klein is, toch niet uitgesloten kan worden dat in Nederland per jaar op een totale bevolking van $13,5 \times 10^6$ inwoners mogelijk 100-200 personen overlijden aan kanker ten gevolge van natuurlijke straling. Een overeenkomstige, maar evenredig met de dosis kleinere bijdrage, zou kunnen worden veroorzaakt door de andere bronnen genoemd in tabel VI die samenhangen met menselijke activiteiten. Hiervan is de medische röntgendiagnostiek de belangrijkste terwijl de andere bronnen in vergelijking hiermee zeer kleine bijdragen leveren.

Summary:

Title: What is 'safe' and how grave are the 'risks' in application of ionizing radiation?
As a result of developments in medicine and

technology, the population is less exposed to risks. Partly as a result of this, the mean life expectancy has markedly increased to above 70 years, and the mean risk of death from all causes taken together has diminished to about 10^{-3} per annum for the population group aged 15-40. This has contributed to a changed appreciation of the 'safety' concept.

To calculate the risks of exposure to ionizing radiation, the data available on the various groups of persons have to be extrapolated to the much smaller doses received as a result of natural radiation and medical diagnostic examinations. On the basis of these extrapolations the International Commission on Radiological Protection (ICRP) has deduced risk factors for the induction of various types of cancer and for genetic effects. These factors make it possible to calculate the possible risk of untoward effects of the small doses received from natural radiation.

Literatuur:

1. UNSCEAR (1977): Source and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation. 1977 Report to the General Assembly.
2. ICRP 26 (1977): Recommendations of the International Commission on Radiobiological Protection ICRP publication 26.

Juni 1980. Adres: Prof. Dr. G. W. Barendsen,
Plesmanlaan 121,
1016 CX Amsterdam.