

Inventarisatie van laboratoriumafval t.g.v. de toepassing van radioactieve stoffen in de vorm van open bronnen : deelrapport

Citation for published version (APA):

Huyskens, C. J., & Hemelaar, J. T. G. M. (1984). *Inventarisatie van laboratoriumafval t.g.v. de toepassing van radioactieve stoffen in de vorm van open bronnen : deelrapport*. (Technische Universiteit Eindhoven. Stralingsbeschermingsdienst rapport; Vol. 4424). Technische Hogeschool Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1984

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.



Stralingsbeschermingsdienst

Rapportnummer SBD 4424

Samenstelling:

Ir. J. Hemelaar

Ir. Chr.J. Huyskens

Datum: januari 1984

INVENTARISATIE VAN LABORATORIUMAFVAL
T.G.V. DE TOEPASSING VAN
RADIOACTIEVE STOFFEN
IN DE VORM VAN OPEN BRONNEN

(deelrapport)

Onderzoek in opdracht van (toenmalig) Ministerie van
Volksgezondheid en Milieuhygiëne

INHOUDSOPGAVE

	<u>blz.</u>
INLEIDING	1
1. DE INVENTARISATIE	2
2. OMVANG VAN TOEPASSINGEN	6
3. TOEGEPASTE HOEVEELHEDEN RADIOACTIEVE STOFFEN	9
Samenvatting	12
4. AFVALVOLUME	16
Samenvatting	22
5. HOEVEELHEDEN RADIOACTIVITEIT IN HET AFVAL	24
Samenvatting	30
BIJLAGEN	

INLEIDING

In opdracht van het Ministerie belast met milieuhygiëne wordt door de Stralingsbeschermingsdienst van de Technische Hogeschool Eindhoven onderzoek verricht naar de mogelijkheden tot beperking van de hoeveelheid radioactief afval. Het onderzoek heeft betrekking op laag- en middelradioactief afval. Hoogactief afval valt buiten de scope van het onderzoek.

Het onderzoek wordt verricht onder leiding van ir. Chr.J. Huyskens en wordt begeleid door een commissie onder voorzitterschap van dr. A.M.F. op den Kamp en dr. H.A. Selling van de Directie Straling van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. De samenstelling van de commissie wordt gegeven in bijlage I.

Een deel van het onderzoek betreft de inventarisatie van de grootheden die kenmerkend zijn voor de samenstelling van het afval dat ontstaat ten gevolge van het gebruik van radioactieve stoffen in de vorm van open bronnen op laboratoria. Dit onderzoek werd verricht in samenhang met een onderzoeksopdracht aan Canberra Positronika te Eindhoven ter uitwerking van meetvoorstellen voor de selectie en etikettering van dergelijk afval.

Dit deelrapport heeft betrekking op het overgrote deel van de laboratoriumtoepassingen. De overige instellingen die apart aan de orde zullen komen worden genoemd in hoofdstuk 1.

Het medio 1982 uitgevoerde globaal verkennende onderzoek door Twijnstra-Gudde (eveneens in opdracht van genoemd ministerie) leidde onder meer tot de aanbeveling om de nuclidensamenstelling van en de activiteit in het afval nader te inventariseren. Zodoende kan inzicht worden verkregen in de mogelijkheden voor scheiding van het afval bij de bron met het oog op een wezenlijke volumereductie van het afval dat als radioactief moet worden aangemerkt.

In hoofdstuk 1 wordt eerst de scope van de inventarisatie toegelicht. De omvang van toepassingen van open radioactieve stoffen komt aan de orde in hoofdstuk 2 qua aantal toepassingen/werkzaamheden en in hoofdstuk 3 voor wat betreft hoeveelheden toegepaste radioactiviteit. De volumestromen van het afval worden behandeld in hoofdstuk 4. Tot slot is hoofdstuk 5 gewijd aan de nuclidensamenstelling van het afval.

Bij de gegevensverwerking is een onderverdeling doorgevoerd onder meer naar de aard van het gebruik (toepassingsgebied) en het type gebruiker (gebruikerscategorie). Bij beschouwingen over hoeveelheden radioactieve stoffen wordt steeds onderscheid gemaakt naar halveringstijd van de nucliden (nuclidegroepen).

Omdat de grootte "radioactiviteit" als maat voor de hoeveelheid van een radioactieve stof onvoldoende informatie geeft over het mogelijke risico voor gezondheid en milieu worden hoeveelheden ook uitgedrukt in termen van "radiotoxiciteit". In dit verband wordt het begrip "Annual Limit on Intake" toegepast.

De resultaten van de inventarisatie worden steeds in tabel- of grafiekvorm gepresenteerd. In de tekst wordt een toelichting daarop gegeven alsmede een samenvatting van de bevindingen.

1. DE INVENTARISATIE

Onder de instellingen in Nederland, waar radioactieve stoffen in de vorm van open bronnen worden toegepast, is een schriftelijke enquête gehouden. Getracht is langs deze weg gegevens te inventariseren die kenmerkend zijn voor de samenstelling van het afval dat ontstaat ten gevolge van die toepassingen.

Het betreft in bijzonder de volgende gegevens (op jaarbasis):

- de toegepaste hoeveelheden radioactiviteit
- de toegepaste radionucliden
- het afvalvolume dat via de erkende ophaaldienst werd afgevoerd
- het afvalvolume dat langs andere (conventionele) weg werd verwijderd
- de hoeveelheden radioactiviteit in het afval
- het onderscheid dat gemaakt wordt naar afvalsoort
- de toegepaste selectie en/of verwerkingsmethoden voor het afval
- de omvang van de werkzaamheden.

De resultaten van de inventarisatie die in dit (deel)rapport worden beschreven hebben betrekking op het overgrote deel van de instellingen waar toepassingen met open radioactieve stoffen plaatsvinden.

De instellingen die in dit deelrapport buiten beschouwing blijven zijn:

- de kernenergiecentrales (Borssele en Dodewaard)
- de instellingen met onderzoeksreactoren (IRI en ECN)
- de overige vestigingen op het ECN-terrein
- de instellingen die zich bezig houden met verrijking van uranium (Urenco/UCN).

Deze instellingen worden apart beschouwd omdat de onderlinge samenhang tussen de kenmerkende grootheden anders van aard is dan bij de overige laboratoriumtoepassingen.

Dit (deel)rapport heeft derhalve betrekking op de overige instellingen binnen Nederland waar toepassingen plaatsvinden met open radioactieve stoffen.

Een belangrijke reden om middels een enquête de detailgegevens te inventariseren, was het feit dat voor de laboratoriumtoepassingen geen voldoende betrouwbare gegevens beschikbaar zijn over de activiteit in het afval. Daarentegen zijn voor de instellingen die in dit rapport buiten beschouwing blijven, dergelijke gegevens in het algemeen wat beter bekend.

Omdat het ondoenlijk leek de gegevens over meerdere jaren te verzamelen werd gekozen voor een inventarisatie die betrekking heeft op het jaar 1982. Daarbij was een aantal vragen toegespitst op het verkrijgen van informatie over de mate van representativiteit van het jaar 1982 voor de voorgaande jaren en de verwachte trends in de toekomst.

De gebruikers van radioactieve stoffen worden onderscheiden in vijf verschillende gebruikerscategorieën. Daarbij wordt in hoofdlijnen dezelfde indeling aangehouden die bij de Directie Straling van het ministerie VROM wordt gehanteerd, nl.

- ACZKH: academische ziekenhuizen
- BEDR: het bedrijfsleven
- DI/INS: diensten en instituten
- UN/HO: universiteiten en hogescholen
- ZKH: ziekenhuizen en poliklinieken.

De enquête

Binnen eenzelfde instelling, bedrijf of organisatie kan sprake zijn van verschillende vestigingen of lokaties waar met radioactieve stoffen wordt gewerkt. In vele gevallen is daarbij sprake van afzonderlijke KEW-vergunningen. Op enkele uitzonderingen na, zijn de verzamelde gegevens voor de verschillende lokaties of vestigingen van eenzelfde instelling, bedrijf of organisatie samengevoegd. Het verzamelen van de gegevens heeft zich echter op het lokatieniveau afgespeeld. Voor de instellingen en bedrijven waarbij sprake is van één of een zeer beperkt aantal lokaties wordt de administratie m.b.t. radioactiviteitshoeveelheden en het afval meestal verzorgd door een en dezelfde persoon (de verantwoordelijke deskundige terzake van stralingshygiëne). Bij complexere instellingen, bedrijven en organisaties zijn de gegevens over toegepaste radioactiviteitshoeveelheden vaak op lokaal niveau beschikbaar terwijl gegevens over afvalvolumina meer centraal worden bijgehouden, omdat vaak sprake is van een gecentraliseerde inzameling, verwerking en afvoer van het afval. Slechts bij enkele grote instellingen zijn alle gegevens op centraal niveau beschikbaar omdat er sprake is van een centraal werkende deskundige dienst op het gebied van stralingsbescherming. De indeling van de vragenlijst was zodanig gekozen dat ze in achtereenvolgende stadia kon worden ingevuld op lokaal niveau en centraal niveau.

De vragenlijst was in een drietal blokken ingedeeld, als volgt.

Blok 1: Vragen die betrekking hebben op aard en omvang van de werkzaamheden op lokatieniveau, alsmede op de toegepaste activiteiten en nuclidesoorten en de afvalvolumegegevens op dat lokatieniveau.

Blok 2: Vragen die betrekking hebben op de omvang en samenstelling van het afval dat op enigerlei wijze tijdelijk wordt opgeslagen, alsmede vragen verband houdend met de nadere selectie en verwerking van tussentijds opgeslagen afval.

Blok 3: Vragen die betrekking hebben op het afval dat via de erkende ophaaldienst wordt afgevoerd.

In de drie blokken waren ook vragen verwerkt die betrekking hadden op de trend, selectie en mate van representativiteit van de verstrekte gegevens. De schematische indeling van de vragenlijst en de toelichting op de enquête is gegeven in bijlage II.

Respons

Er is gestreefd naar een zo volledig mogelijke respons. Dit is vooral belangrijk omdat ook binnen eenzelfde gebruikerscategorie grote verschillen kunnen bestaan in omvang van het radiologisch werk alsook in de grootheden die het afval typeren en de onderlinge relaties daartussen. Dit laatste impliceert ook dat uit de geïnventariseerde gegevens niet zonder meer extrapolaties kunnen worden gemaakt voor het totaalbeeld; ook niet binnen eenzelfde gebruikerscategorie.

Voor alle vijf gebruikerscategorieën was de bruikbare respons tenminste 82%. Voor ACZKH was de respons zelfs 100%. De respons is ook vermeld in tabel 1.1.

TABEL 1.1. OMVANG VAN DE ENQUÊTE EN RESPONS
(tussen haakjes is de bruikbare respons per categorie vermeld)

	ACZKH	BEDR	DI/INS*	UN/HO	ZKH	TOTAAL AANTAL	RESPONS
aantal instellingen in Nederland	7 (100%)	13 (88%)	28 (87%)	10 (100%)	95 (82%)	153	129
aantal lokaties in Nederland	35 (100%)	14 (86%)	26 (87%)	79 (85%)	98 (82%)	256	217

* Binnen de categorie DI/INS is en aantal min of meer op zichzelf staande vestigingen van eenzelfde organisatie aangemerkt als afzonderlijke instelling.

Toepassingsgebied

Zonder nader onderscheid naar de aard van de werkzaamheden is het zeker niet mogelijk om een correlatie te vinden tussen de omvang van de werkzaamheden met open radioactieve stoffen enerzijds en de kenmerkende grootheden van het afval anderzijds.

Om een nadere beschouwing van dergelijke correlaties mogelijk te maken is getracht de omvang van de werkzaamheden in de respectievelijke toepassingsgebieden te typeren door een geschikte maat.

We onderscheiden de volgende vijf toepassingsgebieden:

- In vivo+therapie: De toepassing van open radioactieve stoffen voor medische diagnostiek en radiotherapie. Het betreft hier toepassingen bij patiënten in de geneeskunde waarbij de toegepaste activiteit wordt toegediend aan de patiënt. De omvang van de werkzaamheden wordt hier uitgedrukt in het aantal patiëntverrichtingen.
- In vitro: De toepassing van radioactieve tracertechnieken in de klinische chemie; hier wordt de omvang uitgedrukt in het aantal in vitro bepalingen dat wordt verricht.
- Dierexperimenten: De toepassing van open radioactieve stoffen voor dierexperimenten. Als maat is hier gekozen voor het aantal proefdieren dat wordt gebruikt, omdat hieruit min of meer direct het aantal kadavers in het afval volgt.
- Onderzoek: Toepassing van open radioactieve stoffen voor biomedisch, chemisch en fysisch laboratoriumonderzoek. De omvang van het onderzoekswerk is geïnventariseerd in aantallen mensdagen dat besteed wordt aan de radiologische werkzaamheden.
- Projecten: Toepassing van radioactieve stoffen in grootschalige projecten buiten laboratoria en grote industriële toepassingen. Voor dit toepassingsgebied is het aantal projecten geïnventariseerd.

Nuclidegroepen

Bij de verwerking van de resultaten van de enquête wordt ook onderscheid gemaakt tussen 4 nuclidegroepen, naar gelang de halveringstijd, nl.:

- nuclidegroep I: nucliden met halveringstijd kleiner dan 10 dagen, met uitzondering van ^{131}I
- nuclidegroep II: nucliden met halveringstijd tussen 10 dagen en 100 dagen, alsmede ^{131}I
- nuclidegroep III: nucliden met halveringstijd tussen 100 dagen en 1000 dagen
- nuclidegroep IV: nucliden met halveringstijd groter dan 1000 dagen.

Deze indeling is retrospectief tot stand gekomen, nadat een globaal beeld was verkregen over de nuclidensamenstelling in het afval. De grenswaarden tussen opeenvolgende nuclidegroepen zijn zodanig gekozen dat doelmatige aanbevelingen kunnen worden gedaan voor wachttijden (versterftijden) voor verschillende bestanddelen van het afval.

De nuclide ^{131}I is qua halveringstijd een grensgeval. Gelet op de grote activiteitshoeveelheden (bij medisch therapeutische toepassingen) is voor beheersing van het ^{131}I -afval een versterftijd nodig die past bij de aanpak voor nucliden uit groep II.

2. OMVANG VAN TOEPASSINGEN

Het is logisch te veronderstellen dat het afvalvolume en de activiteit in het afval verband houden met het laboratoriumniveau en de hoeveelheid werk die op die laboratoria wordt verricht.

De indeling naar laboratoriumniveau is gekoppeld aan het onderscheid dat wordt gemaakt naar gelang de maximaal toegelaten hoeveelheden radioactiviteit die krachtens de daarvoor geldende vergunningen mogen worden toegepast. In het kader van het vergunningenstelsel wordt een viertal laboratoriumniveaus onderscheiden, resp. A-, B-, C- en D-laboratoria. Hier betreft het de laboratoria van B-, C- en D-niveau.

In tabel 2.1. is een overzicht gegeven van de aantallen laboratoria van de respectievelijke niveaus binnen de 129 instellingen waarop de gegevens in dit rapport betrekking hebben. Er is een onderverdeling gemaakt per gebruikerscategorie. Per laboratoriumniveau is ook vermeld hoeveel radiologische werkzaamheden op de laboratoria worden verricht. De omvang van het werk is uitgedrukt in aantallen mensjaren.

Het overgrote deel der werkzaamheden (ongeveer 75% van het aantal mensjaren) wordt verricht op C-laboratoriumniveau.

Uit het overzicht valt verder af te lezen dat de werkzaamheden op B-laboratoriumniveau voor ca. 60% plaatsvinden binnen UN/HO.

TABEL 2.1. OMVANG VAN "RADIOLOGISCH WERK" (in mensjaren) EN AANTAL RADIOLOGISCHE LABORATORIA PER GEBRUIKERSCATEGORIE ONDERVERDEELD NAAR LABORATORIUM-NIVEAU (tussen haakjes is vermeld het aantal instellingen waarop de gegevens betrekking hebben)

	ACZKH (7)	BEDR (11)	DI/INS (24)	UN/HO (10)	ZKH (77)	TOTAAL (129)
B-niveau:						
aantal instellingen	(6)	(7)	(8)	(8)	(11)	(40)
aantal B-lab's	8	11	11	54	12	96
mensjaren	10	14	17	97	22	160
C-niveau:						
aantal instellingen	(7)	(11)	(22)	(10)	(68)	(118)
aantal C-lab's	46	39	58	185	88	416
mensjaren	165	95	155	350	335	1100
D-niveau:						
aantal instellingen	(5)	(1)	(4)	(7)	(15)	(32)
aantal D-lab's	11	7	5	36	21	80
mensjaren	15	14	11	65	75	180
Totaal:						
aantal instellingen	(7)	(11)	(24)	(10)	(77)	(129)
aantal lab's	65	57	74	275	121	592
mensjaren	190	123	183	512	432	1440

Gegevens over de omvang van de toepassingen van open radioactieve stoffen zijn te vinden in tabel 2.2.

De totale omvang van de toepassingen van open radioactieve stoffen is als volgt samen te vatten:

In vivo+therapie

Er worden jaarlijks ongeveer 1500 patiënten radiotherapeutisch behandeld. Nagenoeg volledig gebeurt dit met nucliden uit groep II, in bijzonder ^{131}I . Voor iets minder dan de helft gebeurt deze radiotherapie in de 7 academische ziekenhuizen. De rest gebeurt in een 19-tal overige ziekenhuizen.

Er worden jaarlijks bijna 200.000 patiëntverrichtingen uitgevoerd in de nucleair geneeskundige diagnostiek. Voor ongeveer driekwart gebeurt dit in de niet-academische ziekenhuizen. 90% van de verrichtingen gebeurt met nucliden van groep I.

In vitro

Jaarlijks worden ruim 2,5 miljoen in vitro bepalingen uitgevoerd, voor driekwart in niet-academische ziekenhuizen. De omvang van in vitro werk buiten de ziekenhuissfeer is zeer gering (ongeveer 5%).

Ruim 90% van het in vitro werk wordt gedaan met nucliden uit groep II.

Dierexperimenten

Dierexperimenten leveren jaarlijks ongeveer 12.000 kadavers op. Daarvan is 40% afkomstig uit UN/HO. Het werk in ACZKH en DI/INS levert elk ongeveer 25%. De nadruk blijkt te liggen op het werk met nucliden uit groep II en groep IV; elk ongeveer 40%.

Laboratoriumonderzoek

Het biomedisch, chemisch en fysisch laboratoriumonderzoek vindt voor ruim de helft plaats binnen de UN/HO en voor een kwart bij DI/INS.

Het laboratoriumonderzoek blijkt voor bijna de helft gedaan te worden met nucliden uit groep IV. De geïnventariseerde omvang van het laboratoriumwerk binnen de hier beschouwde instellingen is bijna 70.000 werkdagen "zuiver" radiologisch werk.

Grootschalige projecten

Binnen het bedrijfsleven en bij universiteiten/hogeschole is sprake van ruim 10 grootschalige projecten, fifty-fifty over deze categorieën verdeeld.

In tabel 2.3. is een overzicht gegeven van de relatieve verdeling van de geïnventariseerde omvang over de 5 verschillende gebruikerscategorieën. Ook daarbij is een onderverdeling gemaakt naar de vier nuclidegroepen.

In de tabellen worden de gegevens vaak vermeld in niet afgeronde getallen. Daarmee wordt geen overdreven nauwkeurigheid gesuggereerd. Voortijdige afronding zou echter leiden tot verlies van informatie en bovendien zou tussentijdse controle d.m.v. het optellen van kolommen en rijen niet meer mogelijk zijn.

TABEL 2.2. OMVANG VAN DE WERKZAAMHEDEN PER TOEPASSINGSGEBIED EN PER GEBRUIKERSCATEGORIE, ONDERVERDEELD NAAR NUCLIDEGROEP (voor gebruikte "maat": zie tekst op pag. 4)

	ACZKH	BEDR	DI/INS	UN/HO	ZKH	TOTAAL
<u>Nuclidegroep I</u>						
patiënten in vivo+ther.	36260			600	138812	175672
in vitro bepalingen						
kadavers dierexp.	1082		240	453	113	1888
mensdagen onderzoek	305			805	82	1192
projecten		1				1
<u>Nuclidegroep II</u>						
patiënten in vivo+ther.	8335			20	8257	16612
in vitro bepalingen	441994	45000	10000	27200	1792726	2316920
kadavers dierexp.	1188	56	1220	1968	262	4664
mensdagen onderzoek	5971	1270	9145	12858		29244
projecten		1				1
<u>Nuclidegroep III</u>						
patiënten in vivo+ther.	362				1814	2176
in vitro bepalingen	3500	500	3000	3000	63062	73062
kadavers dierexp.	185			61		246
mensdagen onderzoek	933	78	1015	1678		3704
projecten		1		1		2
<u>Nuclidegroep IV</u>						
patiënten in vivo+ther.	223			20	219	462
in vitro bepalingen	113934	150	5000	291	35003	154378
kadavers dierexp.	266	867	1241	2253		4627
mensdagen onderzoek	3361	2315	6533	20458		32667
projecten		2	2	4		8
<u>Totaal I t/m IV</u>						
patiënten in vivo+ther.	45180			640	149102	194922
in vitro bepalingen	559428	45650	18000	30491	1890791	2544360
kadavers dierexp.	2721	923	2701	4735	375	11455
mensdagen onderzoek	10570	3663	16693	35799	82	66807
projecten		5	2	5		12

TABEL 2.3. RELATIEVE VERDELING VAN DE WERKZAAMHEDEN PER TOEPASSINGSGEBIED EN PER GEBRUIKERSCATEGORIE, ONDERVERDEELD NAAR NUCLIDEGROEP (minder dan 0,1% is aangegeven met <; minder dan 1% is aangegeven met <)

	ACZKH	BEDR	DI/INS	UN/HO	ZKH	TOTAAL
<u>Nuclidegroep I</u>						
in vivo+therapie	19			<	71	90
in vitro						
dierexperimenten	9		2	4	1	16
onderzoek	<			1	<	2
projecten		8				8
<u>Nuclidegroep II</u>						
in vivo+therapie	4			-	4	8
in vitro	17	2	<	1	71	91
dierexperimenten	10	<	11	17	2	41
onderzoek	9	2	14	19		44
projecten		8				8
<u>Nuclidegroep III</u>						
in vivo+therapie	<				1	1
in vitro	<	-	<	<	3	3
dierexperimenten	2			<		2
onderzoek	1	<	2	3		6
projecten		8		8		16
<u>Nuclidegroep IV</u>						
in vivo+therapie	<			-	<	<
in vitro	5	-	<	-	1	6
dierexperimenten	2	8	11	20		41
onderzoek	5	3	10	31		49
projecten		16	16	33		67
<u>Totaal I t/m IV</u>						
in vivo+therapie	23			<	77	100
in vitro	22	2	<	1	74	100
dierexperimenten	24	8	24	41	3	100
onderzoek	16	5	25	54	<	100
projecten		42	16	42		100

3. TOEGEPASTE HOEVEELHEDEN RADIOACTIEVE STOFFEN

De inventarisatie betrof onder meer de hoeveelheden van open radioactieve stoffen die op de laboratoria worden toegepast.

De resultaten daarover worden in dit hoofdstuk gepresenteerd. Steeds wordt weer een onderverdeling gemaakt naar gebruikerscategorie, naar toepassingsgebied en naar nuclidegroep.

De hier vermelde resultaten worden later (in hoofdstuk 5) als uitgangspunt genomen om een schatting te maken voor de activiteitshoeveelheden die op jaarbasis in het afval terecht kunnen komen.

We stellen vast dat de grootte radioactiviteit als maat voor de hoeveelheid van een radioactieve stof op zich onvoldoende informatie geeft over het mogelijke risico voor volksgezondheid en milieuhygiëne. Immers de radiotoxiciteit per eenheid van radioactiviteit is per nuclide verschillend. Nadat eerst de hoeveelheden aan de orde komen uitgedrukt in radioactiviteitseenheden, wordt de geïnventariseerde omvang ook uitgedrukt in radiotoxiciteitseenheden.

Radioactiviteitshoeveelheden

De toegepaste hoeveelheden radioactiviteit van open bronnen zijn voor elk nuclide apart geïnventariseerd.

In totaal blijkt het te gaan om ruim 70 verschillende radionucliden. Voor 52 daarvan wordt in bijlage III een gespecificeerd overzicht gegeven van de toegepaste activiteiten, onderverdeeld naar gebruikerscategorie en toepassingsgebied. Een 20-tal nucliden is niet in deze verslaggeving opgenomen omdat ze uiteindelijk, waar het gaat om het afval, verwaarloosbaar bleken.

Samengevat blijkt dat het op jaarbasis in totaal ca. 2000 curie radioactiviteit in de vorm van open bronnen betreft.

In tabel 3.1 wordt voor elk van de vier nuclidegroepen het overzicht gegeven van de toegepaste activiteiten per gebruikerscategorie, onderverdeeld naar de genoemde toepassingsgebieden. De hoeveelheden radioactiviteit zijn uitgedrukt in de (klassieke) eenheid millicurie.

In tabel 3.2 wordt dezelfde informatie over toegepaste hoeveelheden radioactiviteit nogmaals gegeven, echter nu uitgedrukt in relatieve hoeveelheden.

De nuclidengeneratoren zijn bij de inventarisatie apart genomen omdat de activiteit van generatoren langs twee wegen in het afval terecht kan komen. Enerzijds hebben we te maken met de afgewerkte generatoren waarin de resterende hoeveelheid van de moedernucliden (en verontreinigingsnucliden) aanwezig zijn. Anderzijds hebben we te maken met de dochternucliden; deze komen verderop in de paragraaf aan de orde.

Van de generatoren is het aantal generatoren en de totaal ingekochte activiteit van de moedernucliden geïnventariseerd.

In tabel 3.3. is voor de vijf relevante generatortypen het overzicht gegeven van de gebruikte aantallen en de (moeder)nuclide-activiteit ervan, verdeeld naar gebruikerscategorie. Tevens is aangegeven welk aantal generatoren in de afvalstroom van de respectievelijke instellingen terecht komt en welk aantal wordt terug geleverd naar de leverancier.

Zoals uit het overzicht blijkt is de $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ -generator verreweg de meest gebruikte generator. Het blijkt te gaan om 4300 generatoren met een gezamenlijke ^{99}Mo -activiteit van ongeveer 800 curie.

Aangezien het toepassingsgebied van $^{99\text{m}}\text{Tc}$ voornamelijk in vivo werkzaamheden betreft is het niet verwonderlijk dat deze generator nagenoeg alleen in ACZKH en ZKH wordt toegepast.

TABEL 3.1. TOEGEPASTE RADIOACTIVITEITSHOEVEELHEDEN (in millicurie)
ONDERVERDEELD NAAR GEBRUIKERSCATEGORIE, NUCLIDEGROEP EN
TOEPASSINGSGBIED

	ACZKH	BEDR	DI/INS	UN/HO	ZKH	TOTAAL
<u>Nuclidegroep I</u>						
In vivo+therapie	235232			5000	1213075	1453307
in vitro						
dierexperimenten	364		50	2057	169	2640
onderzoek	15100			51560	16	66676
projecten		1600				1600
Totaal I	250696	1600	50	58617	1213260	1524223
<u>Nuclidegroep II</u>						
In vivo+therapie	23504			2	15372	38878
in vitro	512	5	1	7	1196	1721
dierexperimenten	307	7	71	360	35	780
onderzoek	989	128	2227	2767	182	6293
projecten		434				434
Totaal II	25312	574	2299	3136	16785	48106
<u>Nuclidegroep III</u>						
In vivo+therapie	173				210	383
in vitro	14				6	20
dierexperimenten	5			29		34
onderzoek	32	1	4	142		179
projecten		1		2		3
Totaal III	224	2	4	173	216	619
<u>Nuclidegroep IV</u>						
In vivo+therapie	2			1	3	6
in vitro	229		3	6	118	356
dierexperimenten	50	7	109	1388		1554
onderzoek	2165	25720	1511	4586	66	34048
projecten		108412	3	7		108422
Totaal IV	2446	134139	1626	5988	187	144386
<u>Totaal I t/m IV</u>						
In vivo+therapie	258911			5003	1228660	1492574
in vitro	755	5	4	13	1320	2097
dierexperimenten	726	14	230	3834	204	5008
onderzoek	18286	25849	3742	59055	264	107186

TABEL 3.2. RELATIEVE VERDELING VAN TOEGEPASTE RADIOACTIVITEIT ONDERVERDEELD
NAAR GEBRUIKERSCATEGORIE, NUCLIDEGROEP EN TOEPASSINGSGBIED
100% in radioactiviteit komt overeen met 2000 Ci.
Bijdragen kleiner dan 0,1% zijn aangeduid met -.

	ACZKH	BEDR	DI/INS	UN/HO	ZKH	TOTAAL
<u>Nuclidegroep I</u>						
In vivo+therapie	13,7			0,3	70,6	84,6
in vitro						
dierexperimenten	-		-	0,1	-	0,1
onderzoek	0,9			3	-	3,9
projecten		0,1				0,1
TOTAAL I	14,6	0,1	-	3,4	70,6	88,7
<u>Nuclidegroep II</u>						
In vivo+therapie	1,4			-	0,9	2,3
in vitro	-	-	-	-	-	0,1
dierexperimenten	-	-	-	-	-	-
onderzoek	-	-	0,1	0,2	-	0,3
projecten	-	-				-
TOTAAL II	1,5	-	0,1	0,2	1	2,8
<u>Nuclidegroep III</u>						
In vivo+therapie	-				-	-
in vitro	-				-	-
dierexperimenten	-				-	-
onderzoek	-	-	-	-	-	-
projecten	-	-			-	-
TOTAAL III	-	-	-	-	-	-
<u>Nuclidegroep IV</u>						
In vivo+therapie	-				-	-
in vitro	-				-	-
dierexperimenten	-				-	0,1
onderzoek	0,1	1,5	0,1	0,3	-	2
projecten		6,3				6,3
TOTAAL IV	0,1	7,8	0,1	0,3	-	8,4
<u>Totaal I t/m IV</u>						
In vivo+therapie	15,1			0,3	71,5	86,9
in vitro	-	-	-	-	0,1	0,1
dierexperimenten	-	-	-	0,2	-	0,3
onderzoek	1,1	1,5	0,2	3,4	-	6,3

TABEL 3.3. OVERZICHT GENERATOREN
 De activiteit* (van het moedernuclide) is uitgedrukt in curie.
 (tussen haakjes is vermeld het aantal instellingen waarop de gegevens betrekking hebben)

GENERATORATYPE	ACZKH (7)	UN/HO (10)	ZKH (77)	TOTAAL (109)
<u>$^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$</u>				
activiteit	160,7 (7)	13 (1)	625 (53)	800 (61)
aantal	697	50	3558	4305
aantal bij afval	308 (3)	50 (1)	1151 (19)	1509 (23)
aantal naar leverancier	389 (4)		2407 (34)	2796 (38)
<u>$^{81}\text{Rb}/^{81\text{m}}\text{Kr}$</u>				
activiteit	1,9 (5)	6 (1)	10,4 (17)	18,3 (23)
aantal	158	100	699	957
aantal bij afval	106 (3)		222 (5)	328 (8)
aantal naar leverancier	52 (2)	100 (1)	477 (12)	629 (15)
<u>$^{195\text{m}}\text{Hg}/^{195\text{m}}\text{Au}$</u>				
activiteit	0,8 (1)	1,24 (1)	3,2 (1)	5,24 (3)
aantal	5	7	16	28
aantal bij afval			16 (1)	16 (1)
aantal naar leverancier	5 (1)	7 (1)		12 (2)
<u>$^{87}\text{Y}/^{87\text{m}}\text{Sr}$</u>				
activiteit	0,23 (1)		0,058 (1)	0,288 (2)
aantal	8		2	10
aantal bij afval	8 (1)			8 (1)
aantal naar leverancier			2 (1)	2 (1)
		BEDR (11)		
<u>$^{113}\text{Sn}/^{113\text{m}}\text{In}$</u>				
activiteit		0,1 (1)	0,075 (1)	0,175 (2)
aantal		2	2	4
aantal bij afval		2 (1)		2 (1)
aantal naar leverancier			2 (1)	2 (1)

*Het betreft bij generatoren steeds de activiteit op tijdstip van calibratie, zodat het verval in het tijdsverloop tussen productie en binnenkomst bij de gebruikers, op deze wijze reeds is verwerkt.

Radiotoxiciteitshoeveelheden

Omdat we uiteindelijk geïnteresseerd zijn in de omvang van het potentiële risico voor de volksgezondheid en milieuhygiëne dat de toepassing van radioactieve stoffen zou kunnen opleveren, is het doelmatig om de hoeveelheden radioactiviteit uit te drukken in termen van radiotoxiciteit. Dit is mogelijk door toepassing van de afgeleide grootheid "Annual Limit on Intake".

Deze afgeleide limiet is de hoeveelheid radioactiviteit die bij inname door de mens oorzaak zou zijn van een zodanige stralingsdosis in de betreffende organen of weefsels dat de daarmee overeenkomende volg dosis (uitgedrukt in de grootheid effectief dosisequivalent) gelijk zou zijn aan de jaardosislimiet voor beroepsmatig betrokken personen.

Deze per nuclide verschillende afgeleide limietwaarden worden in het vakjargon van de stralingshygiëne de ALI-waarden genoemd. M.a.w. wanneer we de hoeveelheid radioactiviteit uitgedrukt in bijv. millicurie, delen door de ALI-waarde van de betreffende nuclide, krijgen we een maat voor de potentiële dosis in geval van inwendige besmetting. De hoeveelheid uitgedrukt in het aantal ALI-eenheden is dan een maat voor de radiotoxiciteit van die hoeveelheid radioactieve stof.

In het ALI-concept is voor elk van de radionucliden modelmatig rekening gehouden met verschillen in metabolisme, halveringstijd, stralingssoort. Ook is de invloed van eventuele dochternucliden verwerkt. Vooralsnog is hier gekozen voor het gebruiken van de ALI-waarden die gelden bij inslikken (ingestie). Een analoge benadering is mogelijk gebaseerd op ALI-waarden voor geval van inhalatie. De keuze is afhankelijk van de veronderstelde "pathway" voor eventuele inwendige besmetting van personen.

In tabel 3.4 zijn de eerder in tabel 3.1 gegeven activiteitshoeveelheden, op dezelfde wijze onderverdeeld, nu uitgedrukt in het aantal corresponderende ALI-eenheden. In totaal blijkt het voor de betrokken instellingen te gaan om ca. $1,6 \cdot 10^6$ ALI-eenheden.

Wanneer de in tabel 3.4 vermelde hoeveelheden radiotoxiciteit relatief worden genomen t.o.v. de totaal geïnventariseerde omvang, krijgt men een indruk van de relatieve belangrijkheid van toegepaste hoeveelheden activiteit uit het oogpunt van radiotoxiciteit onderverdeeld naar nuclidegroep, naar toepassingsgebied en naar gebruikerscategorie. Het overzicht van deze relatieve hoeveelheden is gegeven in tabel 3.5.

Samenvatting

Vergelijking van de activiteitsgegevens (tabellen 3.1 en 3.2) en de radiotoxiciteitsgegevens (tabellen 3.4 en 3.5) leert onder meer dat de relatieve aantallen van deze grootheden binnen eenzelfde toepassingsgebied en/of binnen eenzelfde gebruikerscategorie sterk verschillen.

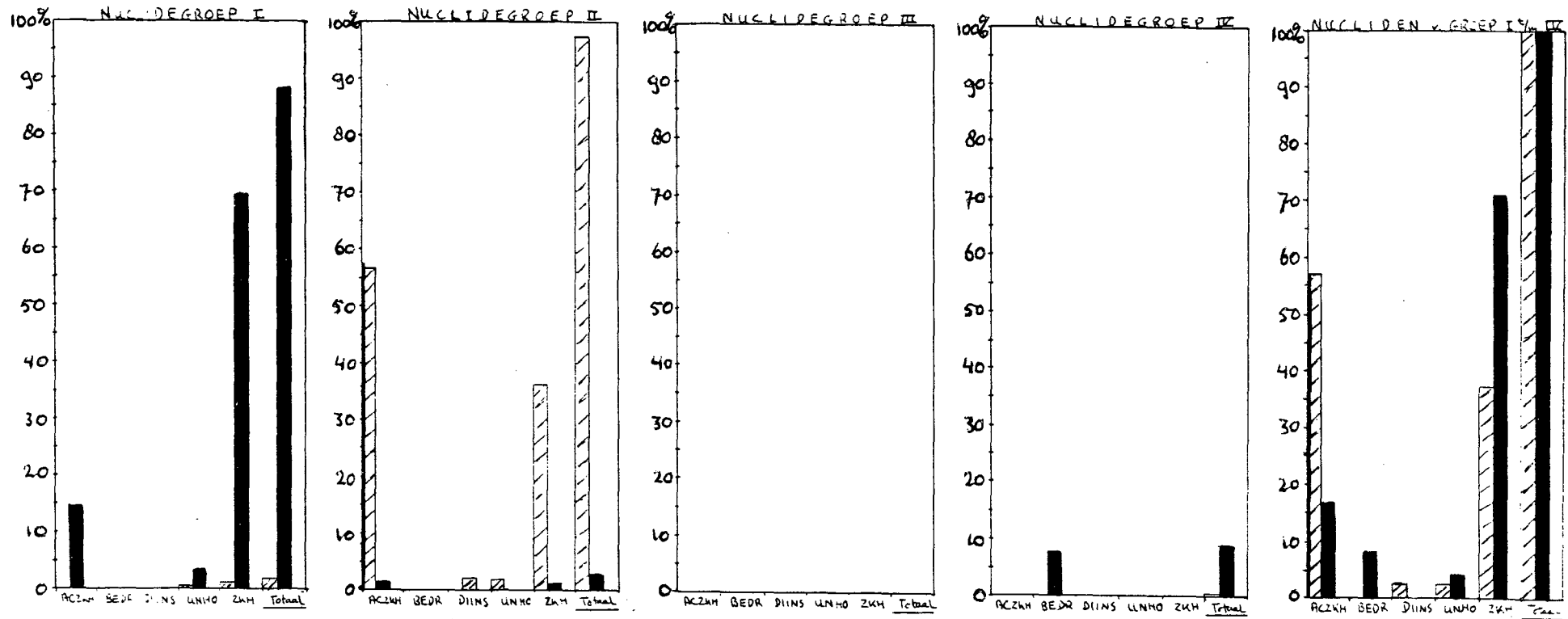
De relatieve verdeling van activiteits- en toxiciteitshoeveelheden naar gebruikerscategorie is samengevat in het staafdiagram in figuur 3.6. Uit die presentatie valt snel te zien dat ca. 80% van de jaarlijks toegepaste activiteit (uitgedrukt in curie) tot nuclidegroep I behoort en nagenoeg geheel wordt toegepast in ACZKH en ZKH.

De overige 20% van de toegepaste activiteit (uitgedrukt in curie) komt uit nuclidegroep IV en wordt nagenoeg volledig toegepast bij de beschouwde instellingen uit BEDR en DI/INS.

Wanneer we echter de radiotoxiciteit als maatstaf nemen blijkt ruim 90% toe te rekenen aan nucliden uit groep II die worden toegepast bij in vivo onderzoek en radiotherapie binnen ACZKH en ZKH. Nadere analyse leert dat dit beeld nagenoeg volledig wordt bepaald door de nuclide ^{131}I , met als voornaamste toepassingsgebied, als het gaat om toegepaste hoeveelheden, de radiotherapie.

	ACZKH	BEDR	DI/INS	UN/HO	ZKH	TOTAAL
<u>Nuclidegroep I</u>						
in vivo+therapie	4856			62	16400	21318
in vitro						
dierexperimenten	9		19	96	23	147
onderzoek	191			8513	2	8706
projecten		18				18
Totaal I	5056	18	19	8671	16425	30189
<u>Nuclidegroep II</u>						
in vivo+therapie	863103			74	553980	1417157
in vitro	18623	185	37	266	24616	43727
dierexperimenten	11147	37	2560	9303	1280	24327
onderzoek	22174	2428	24817	22669	5419	77507
projecten		268				268
Totaal II	915047	2918	27414	32312	585295	1562986
<u>Nuclidegroep III</u>						
in vivo+therapie	35				50	85
in vitro	4				1	5
dierexperimenten	3			17		20
onderzoek	13	1	10	73		97
projecten				7		7
Totaal III	55	1	10	97	51	214
<u>Nuclidegroep IV</u>						
in vivo+therapie	1				1	2
in vitro	5				1	6
dierexperimenten	1	1	4	22		28
onderzoek	35	732	3470	222	1	4460
projecten		1205	1	104		1310
Totaal IV	42	1938	3475	348	3	5806
<u>Totaal I t/m IV</u>						
in vivo+therapie	867995			136	570431	1438562
in vitro	18632	185	37	266	24618	43738
dierexperimenten	11160	38	2583	9438	1303	24522
onderzoek	22413	3161	28297	31477	5422	90770
projecten		1491	1	111		1603
Totaal	920200	4875	30918	41428	601774	1599195

	ACZKH	BEDR	DI/INS	UN/HO	ZKH	TOTAAL
<u>Nuclidegroep I</u>						
in vivo+therapie	0,3			-	1	1,3
in vitro						
dierexperimenten	-		-	-	-	-
onderzoek	-			0,5	-	0,5
projecten		-				-
TOTAAL I	0,3	-	-	0,5	1	1,9
<u>Nuclidegroep II</u>						
in vivo+therapie	54			-	34,6	88,6
in vitro	1,2	-	-	-	1,5	2,7
dierexperimenten	0,7	-	0,2	0,6	0,1	1,6
onderzoek	1,4	0,2	1,5	1,4	0,3	4,8
projecten		-				-
TOTAAL II	57,3	0,2	1,7	2	36,5	97,7
<u>Nuclidegroep III</u>						
in vivo+therapie	-				-	-
in vitro	-				-	-
dierexperimenten	-			-	-	-
onderzoek	-	-	-	-	-	-
projecten	-				-	-
TOTAAL III	-	-	-	-	-	-
<u>Nuclidegroep IV</u>						
in vivo+therapie	-				-	-
in vitro	-				-	-
dierexperimenten	-	-	-	-	-	-
onderzoek	-	-	0,2	-	-	0,2
projecten		0,1	-	-	-	0,1
TOTAAL IV	-	0,1	0,2	-	-	0,4
<u>Totaal I t/m IV</u>						
in vivo+therapie	54,4			-	35,6	90
in vitro	1,2	-	-	-	1,5	2,7
dierexperimenten	0,7	-	0,1	0,6	0,1	1,5
onderzoek	1,4	0,2	1,8	2	0,3	5,7
projecten		0,1	-	-		0,1
TOTAAL	57,6	0,3	1,9	2,6	37,6	100



FIGUUR 3.6. Relatieve verdeling van de toegepaste hoeveelheden radioactieve stoffen in de vorm van open bronnen per nuclidegroep (per gebruikerscategorie) Zwarte staven hebben betrekking op activiteit uitgedrukt in curie. 100% komt overeen met ongeveer 2000 curie. Gearceerde staven hebben betrekking op toxiciteit uitgedrukt in ALI-eenheden. 100% komt overeen met ongeveer $1,6 \cdot 10^6$ ALI-eenheden. Bijdragen kleiner dan 0,5% zijn niet weergegeven.

Samenvattend blijkt ook dat een vijftal nucliden (^{99m}Tc , ^{131}I , ^{125}I , ^3H , ^{14}C) met elkaar in hoge mate bepalend is voor zowel:

- de totale hoeveelheid toegepaste radioactiviteit
- de totale hoeveelheid toegepaste radiotoxiciteit
- de omvang van de toepassingen in nagenoeg alle toepassingsgebieden.

Dit alles is samengevat in tabel 3.7. Daarin is voor de vijf genoemde nucliden de relatieve bijdrage weergegeven tot elk van de genoemde grootheden.

Het blijkt dat deze vijf genoemde nucliden aangevuld met een 7-tal andere (^{67}Ga , ^{201}Th , ^{123}I , ^{81}Rb , ^{51}Cr , ^{32}P en ^{35}S) een nagenoeg volledig overzicht opleveren van de omvang van het laboratoriumgebruik van open radioactieve stoffen.

TABEL 3.7. RELATIEVE BIJDRAGE VAN 5 BELANGRIJKSTE NUCLIDEN TOT ENKELE KENMERKENDE GROOTHEDEN BIJ TOEPASSING

Relatieve bijdrage uitgedrukt in %	^{99m}Tc	^{131}I	^{125}I	^3H	^{14}C	Samen
t.o.v. totaal toegepaste activiteit uitgedrukt in mCi	76	2	0,2	2	0,07	80
t.o.v. totaal toegepaste radiotoxi- citeit uitgedrukt in ALI-eenheden	1	89	8	0,2	0,02	98
t.o.v. totaal aantal therapeutische verrichtingen	-	95	-	-	-	95
t.o.v. totaal aantal in vivo verrichtingen	76	5	1	-	0,2	82
t.o.v. totaal aantal in vitro bepalingen	-	-	90	6	0,13	96
t.o.v. totaal aantal kadavers	12	4	19	24	17	76
t.o.v. totaal aantal "mensdagen" onderzoek	1	1	18	33	14	67

4. AFVALVOLUME

In algemene zin kan het afval dat ontstaat t.g.v. het toepassen van radioactieve stoffen worden onderscheiden in 3 typen:

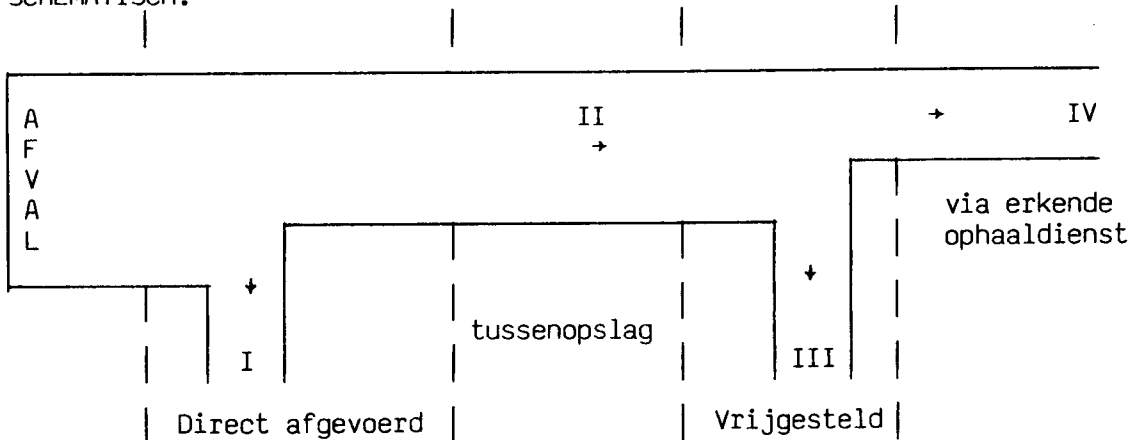
- Afval dat radioactieve stoffen bevat in hoeveelheden die groter zijn dan bedoeld in artikel 6 en 7 van het Radioactieve-stoffen-besluit (RASB). Voor dit afval geldt een verbod zich ervan te ontdoen zonder vergunning, tenzij het wordt afgegeven aan een door de minister erkende ophaaldienst. Voor dit type afval reserveren wij de term "radioactief afval".
- Afval dat weliswaar radioactieve stoffen bevat, doch in hoeveelheden die kleiner zijn dan bedoeld in artikel 6 en 7 van het RASB. Voor dit afval geldt geen verbod zich ervan te ontdoen zonder vergunning. Ook geldt niet de verplichting voor afgifte aan een door de minister erkende ophaaldienst. Voor dit type afval reserveren wij de term "vrijgesteld afval".
- Afval dat geen radioactieve stoffen bevat (of heeft bevat) anders dan de natuurlijke radioactiviteit. Om zich hiervan te ontdoen gelden dan ook geen verdere beperkingen op grond van het RASB. Voor dit type afval reserveren wij de term "conventioneel afval".

In de dagelijkse praktijk wordt alle afval waarvan men zich ontdoet door afgifte aan de erkende ophaaldienst radioactief afval of kernafval genoemd. Wij gebruiken hiervoor de omschrijving "via de erkende ophaaldienst afgevoerd afval".

Bij de inventarisatie van afvalvolumina ten gevolge van de toepassing van open radioactieve stoffen is uitgegaan van een stroomschema, waarin 4 deelstromen worden onderscheiden nl.:

- stroom I: Het afval dat direct vanuit de laboratoria langs conventionele weg wordt afgevoerd; deze afvalstroom omvat conventioneel afval en eventueel ook vrijgesteld afval.
- stroom II: Het afval dat op een of andere wijze tijdelijk wordt bewaard alvorens het definitief wordt verwijderd; deze afvalstroom naar tussenopslag resulteert uiteindelijk in twee andere deelstromen, nl.:
- stroom III: Het vrijgestelde afval dat alsnog langs conventionele weg wordt verwijderd omdat het geen radioactiviteit bevat boven het niveau van de daarvoor gestelde normen.
- stroom IV: Het afval dat via de erkende ophaaldienst wordt afgevoerd.

SCHEMATISCH:



De volumina van de vier deelstromen zijn elk afzonderlijk geïnventariseerd en vervolgens per gebruikerscategorie en per afvalsoort gerangschikt. De verzamelde resultaten worden hierna gegeven.

We constateren dat een controle op de betrouwbaarheid van gegevens van stroom I niet mogelijk is. Omdat het in vele gevallen slechts grove schattingen betreft kan aan de geïnventariseerde omvang van stroom I geen grote betekenis worden gehecht. Wel werd getoetst in hoeverre de gegevens voor stroom II overeenstemmen met de som van stromen III en IV.

De geïnventariseerde gegevens voor het via de erkende ophaaldienst afgevoerde afval (stroom IV) werden vergeleken met soortgelijke gegevens die beschikbaar waren bij de groep radioactief afval (GRA) van het ECN Petten.

Direct afgevoerd afval (stroom I)

Het afval dat direct vanuit de laboratoria langs conventionele weg wordt afgevoerd bestaat deels uit afval dat vrij is van radioactieve besmetting en dat als zodanig apart op de laboratoria wordt verzameld.

Daarnaast kan deze afvalstroom bestaan uit vrijgesteld afval. Het betreft dan in het algemeen afval dat ontstaat bij het werken met (ultra)kortlevende radionucliden waarvan de activiteit tijdens de verblijftijd op de laboratoria is gedaald beneden de ondergrens voor radioactief afval.

In totaal werd voor de beschouwde laboratoria 1200 m³ direct conventioneel afgevoerd vast afval geïnventariseerd. De onderverdeling van deze hoeveelheid naar gebruikerscategorie is gegeven in tabel 4.1.

Het berekenen van een gemiddelde hoeveelheid per instelling is niet zinvol. Ook niet binnen eenzelfde gebruikerscategorie.

TABEL 4.1. DIRECT CONVENTIONEEL AFGEVOERD AFVALVOLUME (in m³)
(stroom I), PER GEBRUIKERSCATEGORIE
(tussen haakjes is vermeld: het aantal instellingen waarop de gegevens betrekking hebben)

ACZKH (7)	BEDR (11)	DI/INS (24)	UN/HO (10)	ZKH (77)	TOTAAL (129)
150 (6)	50 (11)	65 (19)	290 (10)	640 (62)	1195 (108)

Afvalstroom naar tussenopslag (stroom II)

Zoals reeds vermeld, wordt onder deze deelstroom begrepen het afval dat vanuit de werkruimten in enigerlei vorm in tussenopslag terecht komt om uiteindelijk te worden afgevoerd via de erkende ophaaldienst danwel alsnog als vrijgesteld afval te worden afgevoerd langs conventionele weg. Bij de inventarisatie van deze deelstroom is onderscheid gemaakt naar afvalsoort (vast, organisch vloeibaar enz.). De geïnventariseerde volumina per afvalsoort zijn in tabel 4.2. gegeven waarbij weer een onderverdeling is gemaakt naar gebruikerscategorie.

Bij het geïnventariseerde volume van het vloeibare afval is niet inbegrepen het afvalwater dat op het oppervlaktewater wordt geloosd. In het hier besproken afval betreft het dus alleen het anorganisch en organisch vloeibare afval dat uiteindelijk via de erkende ophaaldienst wordt afgevoerd. Het inventariseren van de lozingen op oppervlaktewater viel buiten het bestek van het onderzoek.

TABEL 4.2. AFVALVOLUME (in m³) NAAR TUSSENOPSLAG (STROOM II), PER AFVALSOORT EN PER GEBRUIKSCATEGORIE
(tussen haakjes is vermeld: het aantal instellingen waarop de gegevens betrekking hebben)
Uit nadere analyse is gebleken dat de met * gemerkte gegevens onvoldoende betrouwbaar zijn.

AFVALSOORT	ACZKH (7)	BEDR (11)	DI/INS (24)	UN/HO (10)	ZKH (77)	TOTAAL (129)
vast persbaar	125 (6)	35 (9)	60 (23)	160 (10)	200 (68)	580 (116)
organisch vloeibaar*	2,7 (6)	3,3 (6)	4,7 (21)	19 (10)	4,1 (35)	34 (78)
anorganisch vloeibaar	10,3 (6)	1 (5)*	7,6 (20)	24,6(10)	23,4(42)	67 (83)
biologisch	0,35 (4)*	0,9 (4)	0,4 (6)	12,3 (9)	0,4 (4)	14 (27)
telpotjes	16,4 (3)	12,6 (3)	1,5 (7)*	12,3 (4)*	1,8 (5)	45* (22)
glas*	1,5 (2)	0,25 (3)	3,25 (3)	4,8 (4)	3,2 (15)	13 (27)

Vrijgesteld afval (stroom III)

In tabel 4.3. is weergegeven welke volumina, volgens opgave door de gebruikers na tussentijdse opslag als vrijgesteld afval werd afgevoerd. Ook hierbij is een verdeling gemaakt per gebruikerscategorie en is, voor zover mogelijk, een onderscheid gemaakt naar afvalsoort.

TABEL 4.3. VOLUMINA (in m³) VAN VRIJGESTELD AFVAL (STROOM III)
(tussen haakjes is vermeld het aantal instellingen waarop de gegevens betrekking hebben)
Uit nadere analyse is gebleken dat de met * gemerkte gegevens onvoldoende betrouwbaar zijn.

AFVALSOORT	ACZKH (7)	BEDR (11)	DI/INS (24)	UN/HO (10)	ZKH (77)	TOTAAL (129)
vast persbaar	40 (6)	5 (3)	5 (5)	115 (9)	185 (58)	350 (81)
organisch vloeibaar*				2 (5)		2 (5)
anorganisch vloeibaar	2,1 (2)	0,45 (1)*		4,4 (6)	0,05 (3)	7 (12)
biologisch	0,1 (1)*	0,3 (1)		10,3 (3)	0,3 (3)	11 (8)
telpotjes	0,5 (1)					0,5 (1)*
glas*				0,3 (2)	4,7 (23)	5 (25)

Te constateren valt dat een aanzienlijk deel van deze vrijgestelde vaste afvalstroom na tussenopslag afkomstig is van ziekenhuizen (55%) en van universiteiten/hogescholen (33%). Bij ziekenhuizen is dit een logisch gevolg van vooral het gebruik van kortlevende radionucliden. Van universiteiten en hogescholen is bekend dat aanzienlijke zorg wordt besteed aan het beperken van het uiteindelijk via de erkende ophaaldienst af te voeren afval. Bij de routing van het afval binnen de instellingen wordt in bijzonder aandacht besteed aan scheiding aan de bron.

Van het vaste afval dat tussentijds wordt opgeslagen, wordt uiteindelijk 60% van het volume als vrijgesteld afval afgevoerd.

Voor vloeibaar afval en glaswerk ligt dit percentage lager (in de orde van 10%) hetgeen direct te maken heeft met de toepassing van langlevende nucliden als ³H en ¹⁴C.

Biologisch afval daarentegen blijkt weer voor een belangrijk deel (ongeveer 75%) als vrijgesteld afval te worden verwijderd.

Alvorens conclusies te trekken over de totale omvang van de vrijgestelde afvalstroom dient men te bedenken dat ook in de directe afvoer vanuit de laboratoria (stroom I) sprake kan zijn van hoeveelheden vrijgesteld afval in de zin van de hier gehanteerde definities.

Afvoer via erkende ophaaldienst (stroom IV)

Bij het inventariseren van de volumestroom van het afval dat via de erkende ophaaldienst werd afgevoerd, doet zich het probleem voor dat de verzamelde gegevens over de afvaltransporten (in een jaar) niet zonder meer betrekking hebben op de omvang van deelstroom IV op jaarbasis. (Strikt gesproken is de omvang van deelstroom IV niet zonder meer gelijk te stellen aan de hoeveelheden afval die in een jaar door de erkende ophaaldienst worden verzameld.) Bij de interpretatie van de gegevens die door middel van de enquête werden verzameld is dan ook per geval zoveel mogelijk rekening gehouden met o.a. de verzamelperioden en het aantal afvaltransporten in de afgelopen jaren. De op deze wijze geïnterpreteerde volumehoeveelheden van het afval dat via de erkende ophaaldienst werd afgevoerd is per gebruikerscategorie weergegeven in tabel 4.4. Daarbij is een onderverdeling gemaakt naar de genoemde afvalsoorten.

TABEL 4.4. VOLUMINA (in m³) VAN HET VIA DE ERKENDE OPHAALDIENST AFGEVOERDE AFVAL (STROOM IV), PER AFVALSOORT EN PER GEBRUIKERS-CATEGORIE
(tussen haakjes is vermeld het aantal instellingen waarop de gegevens betrekking hebben)

AFVALSOORT	ACZKH (7)	BEDR (11)	DI/INS (24)	UN/HO (10)	ZKH (77)	TOTAAL (129)
vast persbaar	80 (7)	30 (10)	42 (18)	95 (10)	50 (42)	297 (87)
organisch vloeibaar	4,5 (5)	1,4 (5)	2,3 (15)	12 (10)	2,6 (18)	23 (53)
anorganisch vloeibaar	7,4 (7)	2,5 (6)	6 (16)	20 (10)	18,7(32)	54 (71)
biologisch	0,44(3)	0,6 (2)	0,4 (2)	1,3 (7)	0,15 (1)	3 (15)
glas		0,03 (1)	0,3 (2)		2 (9)	2,4 (12)
telpotjes	16 (3)	13 (4)	9,5 (8)	28 (3)	1,4 (3)	68 (21)

totaal volume	108	48	60	156	75	447

Om een inzicht te krijgen in de betrouwbaarheid van de in tabel 4.4. gegeven cijfers over de afgevoerde volumehoeveelheden is een zeer uitgebreide vergelijking gemaakt met de betreffende kwartaal- en jaarcijfers van de groep GRA van het ECN.

De overeenkomstige schatting voor de volume-omvang van deelstroom IV zijn per afvalsoort gegeven in tabel 4.5. Naast elkaar staan vermeld de volumehoeveelheden zoals werden afgeleid uit de GRA-gegevens en de volumeschattingen gebaseerd op onze inventarisatie. Geconcludeerd kan worden dat de uit de enquête afgeleide omvang van deze deelstroom (stroom IV) voor de belangrijkste afvalsoorten goed overeenkomt met de volumehoeveelheden die werden afgeleid uit de GRA-gegevens. Slechts voor een afvalsoort, nl. de telpotjes, blijken zodanige verschillen dat geen betrouwbare gevolgtrekkingen mogelijk lijken.

TABEL 4.5. VOLUME-HOEVEELHEDEN PER AFVALSOORT IN HET VIA DE ERKENDE OPHAALDIENST AFGEVOERD AFVAL (STROOM IV)
(op basis van GRA/ECN-gegevens en op basis van de enquête)

AFVALSOORT	GRA/ECN-GEGEVENS	ENQUÊTE
Vast (persbaar)	298 m ³	} 297 m ³
Vast (niet persbaar)	7 m ³	
Organisch uit telpotjes	10 m ³	} 23 m ³
uit 60 l vaten	10 m ³	
Anorganisch uit 60 l vaten	59 m ³	54 m ³
Biologisch	6,8 m ³	3,2 m ³
Telpotjes	1388 vaten*	68 m ³ **

* 68 m³ komt overeen met 700-1100 vaten telpotjes afhankelijk van standaardvolume per vat (60 of 100 liter)

Vast persbaar afval

Het blijkt mogelijk om voor de afvalsoort, die qua volume veruit het belangrijkste is, nl. het persbare vast afval een meer gedetailleerd overzicht samen te stellen van de deelstromen I t/m IV. De geïnventariseerde volumestromen voor het vast persbaar afval zijn per gebruikerscategorie gegeven in tabel 4.6.

Het overzicht betreft ca. 300 m³ op jaarbasis die het gevolg zijn van laboratoriumtoepassingen van open bronnen.

Een schematisch overzicht van de bijdragen per gebruikerscategorie tot de verschillende deelstromen is te zien in het staafdiagram in figuur 4.7.

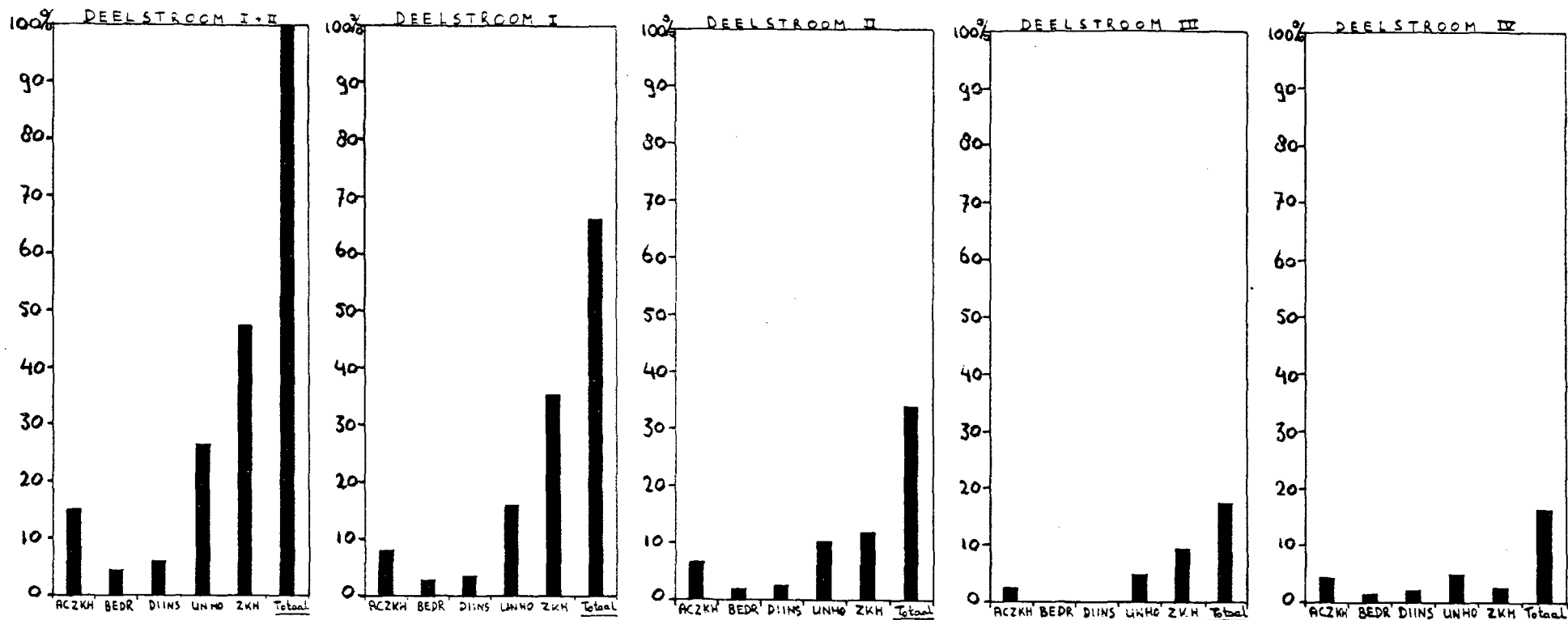
TABEL 4.6. GEINVENTARISEERDE VOLUMESTROMEN VOOR VAST PERSBAAR AFVAL IN 1982 PER GEBRUIKERSCATEGORIE
(het linkergetal geeft het afvalvolume (in m³); het rechter getal geeft de relatieve waarde van elk volume ten opzichte van het totale afvalvolume binnen de betreffende gebruikerscategorie)
Opmerking: Gegevens zijn afgeleid uit tabel 4.1 t/m 4.4. Kleine afwijkingen zijn het gevolg van nadere analyse van de onderlinge volumebalans der deelstromen.

	ACZKH (7)	BEDR (11)	DI/INS (24)	UN/HO (10)	ZKH (77)	TOTAAL (129)
	m ³ /%	m ³ /%	m ³ /%	m ³ /%	m ³ /%	m ³ /%
Stroom I+II	271/100	85/100	113/100	480/100	860/100	1809/100
Stroom I (directe afvoer)	150/55	50/59	65/58	290/60	640/74	1195/66
Stroom II (tussenopslag)	121/45	35/41	48/42	190/40	220/26	614/34
Stroom III (vrijgesteld)	41/15	5/6	6/5	95/20	170/20	317/18
Stroom IV (erkende ophaaldienst)	80/30	30/35	42/37	95/20	50/6	297/16

Samenvatting

Over de volumestromen kan uiteindelijk het volgende worden geconcludeerd:

- Over alle gebruikerscategorieën te zamen wordt ongeveer 16% van het totaal ontstane afvalvolume via de erkende ophaaldienst afgevoerd. Binnen ZKH is dit percentage beduidend lager. Bij ACZKH, BEDR en DI/INS is dit percentage beduidend hoger.
- De onderlinge verhouding van de deelstromen per gebruikerscategorie is sterk verschillend.
- Bij ZKH wordt ruim 90% van het afvalvolume dat op de laboratoria ontstaat, langs conventionele weg afgevoerd.
- Binnen de categorie ZKH blijkt dat slechts 55% van de instellingen zich via de erkende ophaaldienst van vast afval ontdoet.
- Binnen de categorie UN/HO wordt 80% van het afvalvolume langs conventionele weg afgevoerd.
- Tussenopslag blijkt bij BEDR en DI/INS te resulteren in een relatief geringere vrijgestelde stroom dan het geval is bij UN/HO en ZKH.
- Voor andere afvalsoorten dan vast persbaar afval blijkt het niet mogelijk een gedetailleerd overzicht samen te stellen per deelstroom.
- Om de afvalstroom van bijvoorbeeld de telpotjes beter in kaart te brengen zou verdere navraag nodig zijn, in bijzonder binnen de gebruikerscategorieën DI/INS en UN/HO.
- Uit de hier gepresenteerde cijfers voor BEDR en DI/INS kunnen geen algemeen geldende conclusies worden getrokken die gelden voor alle instellingen binnen deze gebruikerscategorieën. Immers voor een belangrijk deel zijn instellingen uit deze categorieën hier buiten beschouwing gebleven.



Figuur 4.7. RELATIEVE OPBOUW VAN DE DEELSTROMEN VOOR VAST PERSBAAR AFVAL, PER GEBRUIKERSCATEGORIE

deelstroom I+II = totaal ontstane afval op laboratoria
 deelstroom I = direct conventioneel afgevoerde afval
 deelstroom II = afvalstroom naar (interne tussenopslag)
 deelstroom III = na tussenopslag langs conventionele weg afgevoerde afval (vrijgesteld afval)
 deelstroom IV = via de erkende ophaaldienst afgevoerd afval
 Het totaal van deelstroom I+II (1809 m³) is op 100% gesteld.

5. HOEVEELHEDEN RADIOACTIVITEIT IN HET AFVAL

In dit hoofdstuk worden schattingen gemaakt voor de hoeveelheden radioactiviteit die vanuit de beschouwde laboratoria in de afvalstroom terecht komen. De schattingen zijn gebaseerd op de gegevens over de toegepaste hoeveelheden radioactiviteit (zie hoofdstuk 3). Voor deze benaderingswijze werd gekozen omdat voor de laboratoriumtoepassingen geen voldoende betrouwbare gegevens beschikbaar zijn over de activiteit in het afval. De GRA-gegevens zijn slechts globaal en vormen een grove overschatting onder meer omdat onbekende activiteitshoeveelheden vaak naar boven worden afgerond tot een millicurie per afgevoerd vat.

Uitgangspunten

In de modelbenadering die wordt gebruikt om de activiteits- en toxiciteitshoeveelheden in het afval af te leiden van de toegepaste hoeveelheden wordt gebruik gemaakt van de volgende uitgangspunten:

- Wanneer vast staat dat toegepaste hoeveelheden niet of ten dele niet in de afvalstroom terecht komen worden ze buiten de schattingen gehouden.
- Voor de nucliden die worden toegepast bij medisch patiënt-onderzoek (in vivo+therapie) wordt aangenomen dat 20% van de toegepaste hoeveelheden in het afval kan komen. De overige 80% wordt verondersteld aan de patiënt te zijn toegediend.
- Gasvormige radioactieve stoffen worden buiten beschouwing gelaten.
- Voor de overige toepassingen wordt verondersteld dat de totale toegepaste hoeveelheid in de afvalstroom terecht komt.
- Het tijdsverloop tussen het feitelijke gebruik van de radionucliden en het moment waarop de activiteit in de afvalstroom terecht komt wordt in het algemeen buiten beschouwing gelaten. Echter niet in geval van bijvoorbeeld Mo/Tc-generatoren waarvan bekend is dat ze niet eerder dan na 9 weken in de (externe) afvalstroom terecht komen.
- De toevoer van activiteit naar de afvalstroom wordt gelijkelijk verdeeld verondersteld over de tijd. (De toevoercomponent uitgedrukt in activiteits-eenheden per tijdseenheid wordt constant verondersteld.)
- Bij de beschouwing over generatoren wordt voor zover mogelijk rekening gehouden met zowel de moedernucliden, dochternucliden als de verontreinigingen. De schattingen over de hoeveelheid activiteit en toxiciteit in het afval zijn gebaseerd op de gegevens uit tabel 3.1.
- Bij de schatting van de activiteit in de afvalstroom is geen rekening gehouden met de bijdrage door verontreinigingsnucliden en vervalprodukten. Over verontreinigingsnucliden is vaak onvoldoende bekend. De bijdrage door dochternucliden aan de radiotoxiciteitsinhoud van het afval is echter wel in de beschouwing betrokken omdat deze bijdrage in de berekening van de ALI-waarden van de betreffende nucliden is verdisconteerd.

De geaccumuleerde activiteit (A) in het afval aan het eind van een verzamelperiode van t jaar wordt per nuclide met halveringstijd ($T_{\frac{1}{2}}$) berekend uit de formule:

$$A = P * T_{\frac{1}{2}} * 1,44 * (1 - \exp(- 0,693 \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}))$$

Hierin wordt symbool P gebruikt voor de toevoercomponent van activiteit naar de afvalstroom.

Voor nucliden die worden verondersteld uiteindelijk geheel in het afval terecht te komen is deze toevoercomponent numeriek gelijk gesteld aan de jaarlijks toegepaste activiteit. Voor in vivo + therapie nucliden is de jaarlijkse toevoer tweetiende deel van de toegepaste activiteitshoeveelheid.

Wanneer de verzamelperiode langer is dan ongeveer viermaal de halveringstijd bereikt de geaccumuleerde activiteit voor dat nuclide nagenoeg een evenwichtswaarde (Q). In de evenwichtssituatie is de toevoercomponent naar het afval gelijk aan de verdwijncomponent als gevolg van radioactief verval. De geaccumuleerde activiteit in het afval kan nooit groter zijn dan de evenwichtswaarde Q.

De berekeningen per nuclide zijn gemaakt voor verzamelperioden van 1 jaar en van 10 jaar. De gekozen periode van 10 jaar houdt verband met de voorlopige voorziening om het afval (via COVRA) voor een dergelijke periode tijdelijk op te slaan in afwachting van meer definitieve voorzieningen.

De ultrakortlevende nucliden uit nuclidegroep I worden gekenmerkt door een evenwichtswaarde die in de regel aanzienlijk kleiner is dan 4% van de toegepaste activiteitshoeveelheid en worden bovendien gekenmerkt door het feit dat de activiteit van het afval na inzameling snel verdwijnt door radioactief verval. Reductie met een factor 1000 gebeurt binnen uiterlijk 0,3 jaar.

Kortlevende nucliden uit nuclidegroep II worden gekenmerkt door het feit dat de evenwichtswaarde aanzienlijk kleiner is dan 40% van de toegepaste activiteit. Aanzienlijk radioactief verval van bijvoorbeeld een factor 1000 vindt al plaats in een tijdsbestek van 0,3 jaar à 3 jaar.

Radionucliden uit nuclidegroep III bereiken binnen een tijdsbestek van uiterlijk 10 jaar nagenoeg de evenwichtswaarde. Deze evenwichtswaarde kan variëren afhankelijk van de halveringstijd, tussen 0,4 à 4 maal de toegepaste jaarhoeveelheid.

Het merendeel van de langlevende nucliden uit nuclidegroep IV bereikt de evenwichtswaarde niet binnen 10 jaren. De geaccumuleerde hoeveelheden na 10 jaar liggen binnen 4 en 10 maal de jaarlijkse hoeveelheden.

Resultaten

Voor Mo/Tc-generatoren is bekend dat ongeveer 65% van het aantal generatoren na gebruik wordt teruggegeven aan de leverancier. Deze draagt dan zorg voor de ontmanteling en de depositie van de (activiteit houdende) patroon bij het afval. De overige 35% van deze generatoren wordt bij de instellingen zelf ontmanteld. De patroon met de restactiviteit komt dan in de eigen afvalstroom terecht. Ontmanteling bij de leverancier gebeurt op zijn vroegst 9 weken na gebruik.

De restpatronen van de Rb/Kr-generatoren gaan veelal terug naar de leverancier. De restactiviteit wordt bepaald door langer levende Rb-isotopen.

De eventuele afval-activiteit van Hg/Au-generatoren kan worden gerelateerd aan de nuclide ^{195}Au .

Van de beide andere generatortypen zijn onvoldoende gegevens bekend over verontreinigingsnucliden.

De schattingen voor de activiteit en toxiciteit in het afval t.g.v. de toepassing van generatoren zijn samengevat in tabel 5.1.

TABEL 5.1. RADIOACTIVITEIT EN RADIOTOXICITEIT IN AFVAL PER GENERATORTYPE NA VERZAMELPERIODEN VAN 1 JAAR RESP. 10 JAAR
(activiteit in millicurie)
(toxiciteit in ALI-eenheden)

	Mo/Tc		Rb/Kr	Hg/Au	Y/Sr	Sn/In	TOTAAL
Bepalende nuclidegroep	III	IV	II	III	I	III	
Activiteit per 1 jaar	4	5	6	27	3	71	116
Activiteit per 10 jaar	12	25	7	36	3	80	163
Toxiciteit per 1 jaar	45	23	11	5	2	44	130
Toxiciteit per 10 jaar	150	130	12	7	2	50	380

De resultaten van de berekeningen zijn voor alle toegepaste radionucliden (met in begrip van generatoren) vermeld in tabel 5.2.

Per nuclide is achtereenvolgens gegeven:

- nuclidenaam (in alfabetische volgorde)
- halveringstijd (uitgedrukt in jaren)
- nuclidegroep (zie indeling hoofdstuk 1)
- geaccumuleerde radioactiviteit na 1 jaar (in millicurie)
- geaccumuleerde radiotoxiciteit na 1 jaar (in ALI-eenheden)
- de toename van activiteit en toxiciteit bij verzamelen gedurende 10 jaren (groefactor).

In tabel 5.3 zijn berekende hoeveelheden in het afval samengevat voor de vier nuclidegroepen en onderverdeeld naar gebruikerscategorie. In tabel 5.4 is dezelfde informatie verwerkt, nu echter uitgedrukt in procentuele bijdragen per gebruikerscategorie.

TABEL 5.2. RADIOACTIVITEIT EN RADIOTOXICITEIT IN JAARLIJKSE AFVAL,
PER NUCLIDE
(radioactiviteit uitgedrukt in millicurie)
(radiotoxiciteit uitgedrukt in ALI-eenheden)

Nuclide	$T_{\frac{1}{2}}$ (jaar)	nucl. groep	radio-activiteit	radio-toxiciteit	groefactor in 10 jaar	bijzonderheden
¹⁹⁵ Au	0,501	III	27	5	1,33	100% generatorpatr.
²⁰⁷ Bi	30	IV	0,03	0,03	9	
¹⁴ C	5736	IV	1168	480	10	zuivere β -straler
⁴⁵ Ca	0,4466	III	40	25	1,27	
¹⁰⁹ Cd	1,241	III	6,2	23	2,3	
¹⁴¹ Ce	$8,9 \cdot 10^{-2}$	II	56,4	35	1	
³⁶ Cl	$3 \cdot 10^5$	IV	1,2	0,7	10	
⁵⁷ Co	0,74	III	101	19	1,65	
⁵⁸ Co	0,195	II	0,1	0,1	1,03	
⁶⁰ Co	5,3	IV	16	80	6	25% generatorpatr.
⁵¹ Cr	$7,6 \cdot 10^{-2}$	II	176	6	1	
¹³⁴ Cs	2,06	III	3,8	46	3,37	98% generatorpatr.
¹³⁷ Cs	30	IV	12	110	9	
¹⁵² Eu	12,4	IV	0,11	0,14	7,9	
¹⁵⁵ Eu	1,81	III	6,6	2,5	3,07	
⁵⁵ Fe	2,7	III	16	2	4,08	
⁵⁹ Fe	0,122	II	2,35	3	1	
⁶⁷ Ga	$8,9 \cdot 10^{-3}$	I	16,5	2	1	
¹⁵³ Gd	0,663	III	18,6	3,4	1,54	
³ H	12,3	IV	33517	413	7,86	zuivere β -straler
¹²³ I	$1,51 \cdot 10^{-3}$	I	46,6	17	1	
¹²⁵ I	0,1644	II	747	27640	1	
¹³¹ I	$2,19 \cdot 10^{-2}$	II	261	9660	1	
¹¹¹ In	$7,67 \cdot 10^{-3}$	I	2,6	0,5	1	
⁵⁴ Mn	0,855	III	1	0,6	1,8	
²² Na	2,6	III	1	2	4	
⁹⁵ Nb	$9,63 \cdot 10^{-2}$	II	0,8	0,4	1	
⁶³ Ni	100	IV	1,1	0,14	9,7	
³² P	$3,9 \cdot 10^{-2}$	II	143	265	1	zuivere β -straler
²¹⁰ Pb	22	IV	1,8	3350	8,7	α -straler in dochternucl.
²¹⁰ Po	0,3792	IV	$9,2 \cdot 10^{-4}$	0,3	1,2	α -straler
⁸¹ Rb	$5,25 \cdot 10^{-4}$	I	15	0,5	1	
⁸³ Rb	0,235	II	5,4	10	1,06	100% generatorpatr.
⁸⁴ Rb	0,0945	II	0,5	0,9	1	100% generatorpatr.
⁸⁶ Rb	$5,12 \cdot 10^{-2}$	I	3,5	6	1	
¹⁰³ Ru	0,1078	II	1,3	0,7	1	
³⁵ S	$2,4 \cdot 10^{-1}$	II	290	53	1,06	zuivere β -straler
¹²⁴ Sb	0,165	II	1	2	1,04	100% generatorpatr.
⁴⁶ Sc	0,23	II	0,8	1	1,05	
⁷⁵ Se	0,329	III	1,2	2	1,14	
¹⁵¹ Sm	87	IV	287	21	9,65	
¹¹³ Sn	0,3151	III	72,4	45	1,13	98% generatorpatr.
⁹⁰ Sr	28,5	IV	2	75	9	
⁹⁹ Tc	$2,1 \cdot 10^5$	IV	5,6	2	10	
^{99m} Tc	$6,85 \cdot 10^{-4}$	I	280	3,5	1	
²⁰¹ Tl	$8,4 \cdot 10^{-3}$	I	63	4	1	
⁸⁷ Y	$9,167 \cdot 10^{-3}$	I	9,7	4,5	1	37% generatorpatr.
⁹⁰ Y	$7,3 \cdot 10^{-3}$	I	1,1	2	1	
⁶⁵ Zn	0,6685	III	2,84	11	1,55	

TABEL 5.3. ACTIVITEIT EN TOXICITEIT IN AFVAL NA VERZAMELPERIODEN VAN 1 JAAR RESP. 10 JAAR - PER NUCLIDEGROEP, PER GEBRUIKERS-CATEGORIE
(activiteit uitgedrukt in millicurie)
(toxiciteit uitgedrukt in ALI-eenheden)

	ACZKH	BEDR	DI/INS	UN/HO	ZKH	TOTAAL
<u>Nuclidegroep I</u>						
activiteit per 1 jaar	83	2	0,3	83	273	441
activiteit per 10 jaar	83	2	0,3	83	273	441
toxiciteit per 1 jaar	7	0,02	0,4	24	8	39
toxiciteit per 10 jaar	7	0,02	0,4	24	8	39
<u>Nuclidegroep II</u>						
activiteit per 1 jaar	478	69	333	446	341	1667
activiteit per 10 jaar	483	69	339	456	360	1707
toxiciteit per 1 jaar	15200	212	5884	5775	10589	37660
toxiciteit per 10 jaar	15340	213	5959	5777	10677	37966
<u>Nuclidegroep III</u>						
activiteit per 1 jaar	60	44	2	115	78	299
activiteit per 10 jaar	116	55	4	208	114	491
toxiciteit per 1 jaar	26	26	6	63	64	185
toxiciteit per 10 jaar	59	31	12	120	155	377
<u>Nuclidegroep IV</u>						
activiteit per 1 jaar	2379	25000	1548	5838	183	34948
activiteit per 10 jaar	18785	196900	12726	47167	1439	277017
toxiciteit per 1 jaar	45	721	3421	345	21	4553
toxiciteit per 10 jaar	368	6283	29882	3145	129	39807
<u>Totaal I t/m IV</u>						
activiteit per 1 jaar	3000	25115	1883	6482	875	37355
activiteit per 10 jaar	19467	197020	13069	47919	2186	279656
toxiciteit per 1 jaar	15278	959	9311	6207	10682	42437
toxiciteit per 10 jaar	15774	6527	35853	9066	10969	78189

TABEL 5.4. RELATIEVE BIJDORGE TOT ACTIVITEIT EN TOXICITEIT IN AFVAL NA VERZAMELPERIODEN VAN 1 JAAR RESP. 10 JAAR - PER NUCLIDEGROEP, PER GEBRUIKERS-CATEGORIE
(activiteit uitgedrukt in millicurie)
(toxiciteit uitgedrukt in ALI-eenheden)
(minder dan 1% is aangegeven met <;
minder dan 0,1% is aangegeven met -)

	ACZKH	BEDR	DI/INS	UN/HO	ZKH	TOTAAL
<u>Nuclidegroep I</u>						
activiteit per 1 jaar	<	-	-	<	<	1
activiteit per 10 jaar	-	-	-	-	-	<
toxiciteit per 1 jaar	-	-	-	-	-	-
toxiciteit per 10 jaar	-	-	-	-	-	-
<u>Nuclidegroep II</u>						
activiteit per 1 jaar	1	<	<	1	<	4
activiteit per 10 jaar	<	-	<	<	<	<
toxiciteit per 1 jaar	36	<	14	14	25	89
toxiciteit per 10 jaar	20	<	8	7	14	49
<u>Nuclidegroep III</u>						
activiteit per 1 jaar	<	<	-	<	<	1
activiteit per 10 jaar	-	-	-	-	-	<
toxiciteit per 1 jaar	-	-	-	<	<	<
toxiciteit per 10 jaar	-	-	-	<	<	<
<u>Nuclidegroep IV</u>						
activiteit per 1 jaar	6	67	4	16	<	94
activiteit per 10 jaar	7	70	5	17	<	99
toxiciteit per 1 jaar	<	2	8	<	-	11
toxiciteit per 10 jaar	<	8	38	4	<	51
<u>Totaal I t/m IV</u>						
activiteit per 1 jaar	8	67	5	17	2	100
activiteit per 10 jaar	7	70	5	17	<	100
toxiciteit per 1 jaar	36	2	22	15	25	100
toxiciteit per 10 jaar	20	8	46	12	14	100

Samenvatting

De schattingen voor de activiteit en radiotoxiciteit in het afval zijn in hoofdlijnen als volgt samen te vatten.

- Het afval van generatoren draagt niet significant bij tot het totaal voor alle gebruikerscategorieën. Wanneer we echter de medische toepassingen apart bekijken blijkt het verontreinigingsnuclide ^{134}Cs uit de Mo/Tc-generatoren bepalend te zijn voor de toxiciteit in het afval voor nucliden uit groep III.

Opmerkelijk is overigens dat een uiterst gering aantal (4) Sn/In-generatoren qua toxiciteit in het jaarlijkse afval, dezelfde betekenis heeft als alle Mo/Tc-generatoren te zamen.

- De gezamenlijke activiteit van nuclidegroep I ligt op jaarbasis ruim beneden 1% van het totaal. De toxiciteitsinhoud hiervan is ten hoogst 0,1% van de jaarlijkse hoeveelheid.

- Nuclidegroep II die gevormd wordt door een 12-tal nucliden, correspondeert met ongeveer 4% van de jaarlijkse activiteit (ca. 2 curie). De hiermee corresponderende radiotoxiciteit is ongeveer 40.000 ALI-eenheden per jaar. Dit komt neer op ongeveer 4% van het jaarlijkse totaal. De toxiciteitsinhoud van nuclidegroep II wordt voor driekwart bepaald door ^{125}I en voor een kwart door ^{131}I . De overige 7 nucliden zijn verwaarloosbaar.

Reeds binnen het tijdsbestek van een jaar is er sprake van een evenwichtswaarde voor de activiteit, zodat activiteit en toxiciteit in de loop van een verzamelperiode van meerdere jaren niet toeneemt. In relatieve zin is na 10 jaar de activiteit aanzienlijk minder dan 0,1%. De radiotoxiciteitsinhoud na 10 jaar verzamelen is ongeveer 50% van het dan verzamelde totaal.

De overige nucliden in deze groep zijn ^{141}Ce , ^{58}Co , ^{51}Cr , ^{59}Fe , ^{95}Nb , ^{32}P , ^{103}Ru , ^{35}S , ^{124}Sb , ^{46}Sc .

- De totale activiteit en radiotoxiciteit van de 14 relevante nucliden van groep III is op jaarbasis enkele tienden van 1% van het totaal.

Het gaat hier jaarlijks zowel als over 10 jaar, om aanzienlijk minder dan 1 curie, hetgeen correspondeert met een paar honderd ALI-eenheden.

Het betreft de volgende nucliden: ^{195}Au , ^{45}Ca , ^{109}Cd , ^{57}Co , ^{134}Cs , ^{155}Eu , ^{55}Fe , ^{153}Gd , ^{54}Mn , ^{22}Na , ^{75}Se , ^{113}Sn en ^{65}Zn .

- Ruim 90% van de radioactiviteit in het jaarlijkse afval is afkomstig van nuclidegroep IV. Qua radiotoxiciteit is dit echter "slechts" ongeveer 10%. In absolute hoeveelheden gaat het om resp. ca. 35 curie en ca. 5000 ALI-eenheden.

Over een termijn van 10 jaren bezien, groeit de geaccumuleerde activiteit van nuclidegroep IV tot ca. 300 curie. Dit correspondeert met ongeveer 40.000 ALI-eenheden. Relatief bezien is dit respectievelijk ca. 10% en ca. 50% van het totaal over 10 jaren.

Het betreft hier 13 nucliden, te weten: ^{207}Bi , ^{14}C , ^{36}Cl , ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{152}Eu , ^3H , ^{63}Ni , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{151}Sm , ^{90}Sr , ^{99}Tc .

Erratum

In rapport SBD 4424, "Inventarisatie van laboratoriumafval t.g.v. de toepassing van radioactieve stoffen in de vorm van open bronnen", is de juiste tekst op blz. 30, 4e alinea als volgt:

-Nuclidegroep II die gevormd wordt door een 12-tal nucliden, correspondeert met ongeveer 4% van de jaarlijkse activiteit (ca. 2 curie). De hiermee corresponderende radiotoxiciteit is ongeveer 40.000 ALI-eenheden per jaar. Dit komt neer op ongeveer 90% van het jaarlijkse totaal. De toxiciteitsinhoud van nuclidegroep II wordt voor driekwart bepaald door I-125 en voor een kwart door I-131. De overige 10 nucliden zijn verwaarloosbaar.

- Dochterprodukten van ^{210}Pb en ^{210}Po zijn de enige α -stralers die blijkens de enquête door de beschouwde laboratoria worden toegepast. De schattingen voor de radiotoxiciteitsinhoud van het afval worden zeer nadrukkelijk beïnvloed door ^{210}Pb .

Wanneer deze nucliden - en in het algemeen alle α -stralers - op voorhand apart worden gehouden in de afvalstroom, wordt de totale radiotoxiciteit in het overige afval op jaarbasis teruggebracht tot ongeveer 39.000 ALI-eenheden. Over een termijn van 10 jaren vermindert de radiotoxiciteitsinhoud van 80.000 naar 50.000 ALI-eenheden.

- Een nadere analyse van de nuclidesamenstelling van het afval leidt tot de conclusie dat een viertal nucliden in zeer hoge mate bepalend is voor de radioactiviteit in het afval. Hetzelfde geldt voor de radiotoxiciteitsinhoud van het afval exclusief de α -stralers.

Het zijn ^{131}I , ^{125}I , ^3H , ^{14}C . Zoals in hoofdstuk 3 is gebleken zijn deze nucliden samen met $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ook het meest relevant voor de kenmerkende grootheden in relatie tot de toepassing.

Een samenvattend overzicht van de relatieve bijdrage van deze vijf nucliden tot de kenmerkende grootheden van het afval en van de toepassing zelf is gegeven in tabel 5.6.

Een samenvattend overzicht van volume, activiteit en radiotoxiciteit in het laboratoriumafval is te zien in tabel 5.7. Per gebruikerscategorie wordt achtereenvolgens gegeven:

- het totale volume dat jaarlijks via de erkende ophaaldienst wordt afgevoerd (uitgedrukt in m^3)

- de schatting voor de activiteit in het afval bij een verzamelperiode van 1 jaar (uitgedrukt in curie)

- de schatting voor de activiteit in het afval bij een verzamelperiode van 10 jaar (uitgedrukt in curie)

- de schatting voor de radiotoxiciteit in het afval (resp. inclusief en exclusief α -stralers) bij een verzamelperiode van 1 jaar (uitgedrukt in 1000 ALI-eenheden)

- de schatting voor de radiotoxiciteit in het afval (resp. inclusief en exclusief α -stralers) bij een verzamelperiode van 10 jaar (uitgedrukt in 1000 ALI-eenheden).

- De medische toepassingen binnen ACZKH en ZKH blijken te zamen tweederde van de radiotoxiciteit in het jaarlijkse afval te veroorzaken. Beschouwd over 10 jaren ligt dat aandeel wat lager; ca. 50% van de totale radiotoxiciteit van niet- α -stralers. Overigens is bekend dat deze bijdrage nagenoeg volledig terug te voeren is op het gebruik van de nucliden ^{125}I en ^{131}I . Hieruit valt te concluderen dat tweederde van de jaarlijkse radiotoxiciteitsinhoud doelmatig uit de afvalstroom kan worden afgescheiden.

Opgemerkt moet worden dat niet op voorhand vast staat dat de geschatte activiteitshoeveelheden feitelijk in het via de erkende ophaaldienst afgevoerde volume aanwezig zijn. In bijzonder bij ACZKH, ZKH en UN/HO kan de activiteit ten dele zitten in de vrijgestelde afvalstroom (zie hoofdstuk 4).

De hier gevolgde benadering kan derhalve een overschatting betekenen van de activiteitshoeveelheden in het jaarlijks via de erkende ophaaldienst afgevoerde volume.

TABEL 5.6. RELATIEVE BIJDRAGE VAN 5 BELANGRIJKE NUCLIDEN TOT KENMERKENDE GROOTHEDEN VAN AFVAL EN TOEPASSING

Relatieve bijdrage uitgedrukt in %	^{99m} Tc	¹³¹ I	¹²⁵ I	³ H	¹⁴ C	Samen
t.o.v. radioactiviteit in afval per 1 jaar	0,7	0,7	2	90	3	96
t.o.v. radioactiviteit in afval per 10 jaar	0,1	0,1	0,3	94	4	99
t.o.v. radiotoxiciteit in afval per 1 jaar	-	23	65	1	1	90
t.o.v. radiotoxiciteit in afval per 1 jaar exclusief α-stralers	-	25	71	1	1	98
t.o.v. radiotoxiciteit in afval per 10 jaar	-	12	35	4	6	57
t.o.v. radiotoxiciteit in afval per 10 jaar exclusief α-stralers	-	20	56	7	10	93
t.o.v. totaal toegepaste activiteit uitgedrukt in mCi	76	2	0,2	2	0,07	80
t.o.v. totaal toegepaste radiotoxiciteit uitgedrukt in ALI-eenheden	1	89	8	0,2	0,02	98
t.o.v. totaal aantal therapeutische verrichtingen	-	95	-	-	-	95
t.o.v. totaal aantal in vivo verrichtingen	76	5	1	-	0,2	82
t.o.v. totaal aantal in vitro bepalingen	-	-	90	6	0,13	96
t.o.v. totaal aantal kadavers	12	4	19	24	17	76
t.o.v. totaal aantal "mensdieren" onderzoek	1	1	18	33	14	67

TABEL 5.7. SAMENVATTING VAN VOLUME, RADIOACTIVITEIT EN RADIOTOXICITEIT IN LABORATORIUMAFVAL PER GEBRUIKERSCATEGORIE (volume in m³) (activiteit in curie) (toxiciteit in 1000 ALI-eenheden) tussen haakjes is vermeld het percentage t.o.v. het totaal

	ACZKH	ZKH	BEDR	DI/INS	UN/HO	TOTAAL
jaarlijks via ophaaldienst afgevoerd volume	108 (24)	75 (17)	48 (11)	60 (13)	156 (35)	≈450 (100)
radioactiviteit per 1 jaar	3 (8)	1 (2)	25 (68)	2 (5)	6 (17)	≈ 40 (100)
radioactiviteit per 10 jaar	20 (7)	2 (1)	197 (70)	13 (5)	48 (17)	≈300 (100)
radiotoxiciteit per 1 jaar	15 (36)	11 (25)	1 (2)	9 (22)	6 (15)	≈ 42 (100)
idem exclusief α's	15 (39)	11 (27)	1 (3)	6 (15)	6 (16)	≈ 39 (100)
radiotoxiciteit per 10 jaar	16 (20)	11 (14)	7 (8)	36 (46)	9 (12)	≈ 80 (100)
idem exclusief α's	16 (32)	11 (22)	7 (14)	17 (14)	9 (18)	≈ 50 (100)

BIJLAGE I

Samenstelling van de begeleidingscommissie

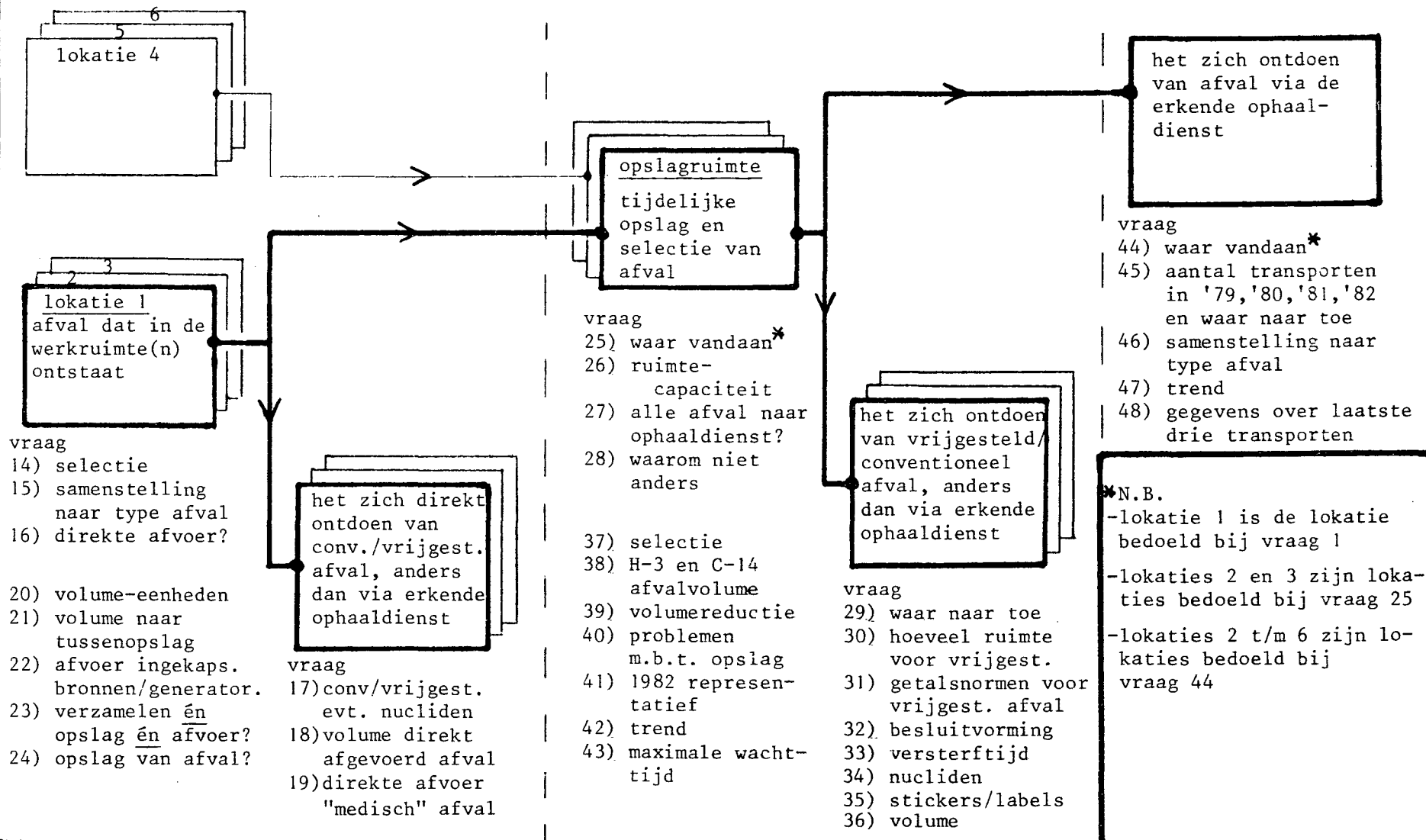
Dr. A.M.F. Op den Kamp (voorzitter)	Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer Directie Straling
Dr. H.A. Selling (plv. voorzitter)	Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer Directie Straling
Ing. C.M. Vos (secretaris)	Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer Directie Straling
Dr. P.J. van der Jagt	Vrije Universiteit Amsterdam
J.C. Abrahamse	N.V. Provinciale Zeeuwse Elektriciteitsmaatschappij/Kerncentrale Borssele
Drs. A.H.L. Aalbers	Rijksinstituut voor de Volksgezondheid
Ir. G. van der Lugt	N.V. KEMA, Arnhem
Ing. J.G.J. van Winsen	Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, Directoraat-Generaal van de Arbeid, Kernfysische Dienst

SCHEMATISCHE INDELING VAN DE VRAGENLIJST

VRAGEN MET BETREKKING OP DE WERKRUIMTE(N) VAN DE LOKATIE
 Vragen 1 t/m 7: kenmerken van de lokatie*
 Vragen 8 t/m13: toegepaste activiteiten
 Vragen 14t/m24: afval dat in de werkruimte(n) van de lokatie ontstaat

VRAGEN MET BETREKKING OP DE OMVANG EN SELECTIE IN VERBAND MET TIJDELIJKE OPSLAG VAN AFVAL
 Vragen 25 t/m 43

VRAGEN MET BETREKKING OP AFVAL WAARVAN MEN ZICH ONTDOET VIA DE ERKENDE OPHAALDIENST
 Vragen 44t/m 48



TOELICHTING BIJ DE INVENTARISATIE VAN AFVAL T.G.V. DE TOEPASSING VAN RADIOACTIEVE STOFFEN IN NEDERLAND

In algemene zin kan het afval dat ontstaat t.g.v. het toepassen van radioactieve stoffen worden onderscheiden in drie typen, nl.:

- afval dat radioactieve stoffen bevat in hoeveelheden die groter zijn dan bedoeld in artikel 6 en 7 van het Radioactieve-stoffen-besluit (RASB). Voor dit afval geldt een verbod zich ervan te ontdoen zonder vergunning tenzij het wordt afgegeven aan een door de Minister erkende ophaaldienst.

Voor dit type afval reserveren wij de term "radioactief afval".

- afval dat weliswaar radioactieve stoffen bevat, doch in hoeveelheden die kleiner zijn dan bedoeld in artikel 6 en 7 van het RASB. Voor dit afval geldt geen verbod zich ervan te ontdoen zonder vergunning. Ook geldt niet de verplichting voor afgifte aan een door de minister erkende ophaaldienst.

Voor dit type afval reserveren wij de term "vrijgesteld afval".

- afval dat geen radioactieve stoffen bevat (of heeft bevat) anders dan natuurlijke radioactiviteit. Om zich hiervan te ontdoen gelden dan ook geen beperkingen op grond van het RASB.

Voor dit type afval reserveren wij de term "conventioneel afval".

Hoewel volgens de formele definities veelal ten onrechte, wordt in de dagelijkse praktijk alle afval waarvan men zich ontdoet door afgifte aan de erkende ophaaldienst, radioactief afval of kernafval genoemd. In de vragenlijst gebruiken wij hiervoor de omschrijving "het via de erkende ophaaldienst afgevoerde afval".

De vragenlijst is ingedeeld volgens het schema op de achterzijde van deze toelichting; de vragen hebben betrekking op:

- de kenmerken van de lokatie waar de radioactieve stoffen worden toegepast (vraag 1 tot en met 7)

- de hoeveelheden radioactieve stoffen (activiteit) die in het jaar 1982 zijn toegepast (vraag 8 tot en met 13)

- het afval dat in de werkruimte(n) ontstaat (vraag 14 tot en met 24)

- de omvang en selectie van het tijdelijk opgeslagen afval (vraag 25 tot en met 43)

- de samenstelling van het afval dat via de erkende ophaaldienst werd afgevoerd (vraag 44 tot en met 48).

Deze vragenlijst is geadresseerd aan de verantwoordelijk deskundige van de op de adreslabel genoemde lokatie. De gegevens zijn ontleend aan de administratie bij de Directie Straling van het Ministerie voor Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. U wordt verzocht deze gegevens (zo nodig gecorrigeerd) in te vullen bij vraag 1 en vraag 2. Indien de vragenlijst bij u niet op zijn plaats is, wordt u verzocht deze door te leiden naar de werkelijk betrokken persoon en ons daarvan op de hoogte te stellen.

Wanneer u niet beschikt over gevraagde kwantitatieve gegevens kunt u volstaan met een schatting daarvoor. Gelieve dit duidelijk aan te geven met een hoofdletter S opdat wij bij de verwerking van de gegevens onderscheid kunnen maken tussen "harde" cijfers en schattingen.

Hoewel wij ons ervan bewust zijn dat we een aanslag doen op uw tijd, wordt u verzocht, in het belang van het onderzoek de ingevulde vragenlijst binnen drie weken terug te sturen:

Stralingsbeschermingsdienst THE
Postbus 513
5600 MB EINDHOVEN

In geval u bij de invulling vragen of problemen tegenkomt, kunt u contact opnemen met ir. J. Hemelaar of ir. J. Kester op het bovengenoemde adres, tel. 040-473853, b.g.g. 473855.

Bij voorbaat onze dank voor uw medewerking.

Hoofd Stralingsbeschermingsdienst,
ir. Chr.J. Huyskens.

BIJLAGE III

Overzicht toegepaste activiteiten (in mCi) en aantal verrichtingen

Toepassingsgebied: In vivo/Therapie

(tussen haakjes is vermeld het aantal instellingen waarop de gegevens betrekking hebben)

NUCLIDE		ACZKH (7)	BEDR (11)	DI/INS (24)	UN/HO (10)	ZKH (77)	TOTAAL (129)
¹⁴ C	act.	1,31 (3)			1 (1)	3,08 (9)	5,4 (13)
	verr.	209			10	184	403
⁵⁷ Co	act.	171,22 (5)				203,43(32)	374 (37)
	verr.	328				1734	2062
⁵⁸ Co	act.	0,5 (1)				0,561 (12)	1,06 (13)
	verr.	217				713	930
⁵¹ Cr	act.	118,1 (6)				127 (33)	245 (39)
	verr.	405				826	1231
⁵⁹ Fe	act.	2,822 (4)				1,43 (7)	4,25 (11)
	verr.	84				94	178
⁶⁷ Ga	act.	2297,4 (7)				3794 (44)	6091 (51)
	verr.	642				1292	1934
³ H	act.	0,51 (1)			0,25 (1)	0,25 (1)	1 (3)
	verr.	14			10	35	59
¹²³ I	act.	1551 (7)				4015,35(43)	5570 (50)
	verr.	3124				7729	10853
¹²⁵ I	act.	204 (6)				38 (13)	242 (19)
	verr.	1258				948	2206
¹³¹ I in vivo	act.	685 (7)			2 (1)	1397 (42)	2072 (50)
	verr.	5740			20	4842	10582
¹³¹ I therapie	act.	22435 (7)				13523 (17)	35960 (24)
	verr.	621				792	1413
¹¹¹ In	act.	471,7 (7)				428,75 (43)	900(50)
	verr.	421				575	996
^{81m} Kr	act.	2668 (1)				121088 (6)	123756 (7)
	verr.	356				1626 (8)	1982 (9)
³² P therapie	act.	58 (2)				284,4 (4)	342,6 (6)
	verr.	10				42	52
⁷⁵ Se	act.	1,86 (3)				6,5 (7)	8,36 (10)
	verr.	34 (2)				69	103 (9)
^{87m} Sr	act.	280 (1)					280 (1)
	verr.	15					15
^{99m} Tc	act.	218463 (7)			5000 (1)	1055785(50)	1279250 (58)
	verr.	29155			600	116595 (54)	146350 (62)
²⁰¹ Tl	act.	4932 (7)				20896 (44)	25830 (51)
	verr.	2350				10170	12520
¹³³ Xe	act.	4077 (2)				7017,5 (6)	11095 (8)
	verr.	170				823	993
⁹⁰ Y in vivo	act.	292 (1)				50 (1)	342 (2)
	verr.	10				5	15
⁹⁰ Y therapie	act.	200 (1)					200 (1)
	verr.	17					17
⁶⁵ Zn	act.					0,11 (1)	0,11 (1)
	verr.					11	11

Overzicht toegepaste activiteiten (in mCi) en aantal bepalingen
 Toepassingsgebied: in vitro
 (tussen haakjes is vermeld het aantal instellingen waarop de gegevens betrekking hebben)

NUCLIDE		ACZKH (7)	BEDR (11)	DI/INS (24)	UN/HO (10)	ZKH (77)	TOTAAL (129)
¹⁴ C	act. bepal.	6,25 (5) 2704			0,06 (1) 15	0,13 (2) 607	6,44 (8) 3326
⁴⁵ Ca	act. bepal.	3 (2) 60					3 (2) 60
⁵⁷ Co	act. bepal.	0,036 (1) 440	0,0134(1) 500	0,2 (1) 3000	0,15 (1) 3000	6,47 (51) 63062 (49)	6,87 (55) 70000 (53)
⁵⁸ Co	act. bepal.					0,145 (4) 282 (5)	0,145 (4) 282 (5)
⁵¹ Cr	act. bepal.	8,68 (1) 3475				529,7 (7) 136 (6)	538,8 (8) 3611 (7)
⁵⁵ Fe	act. bepal.	10 (1) 3000					10 (1) 3000
⁵⁹ Fe	act. bepal.					1 (2) 4100	1 (2) 4100
³ H	act. bepal.	222,67(6) 111230	0,275(1) 150	2,7 (1) 5000	6,32(1) 276	117,6(17) 34396(15)	350 (26) 151050(24)
¹²⁵ I	act. bepal.	487,3 (7) 438094	5 (1) 45000	1 (1) 10000	7,2 (1) 27200	663,24(71) 1788202(68)	1164 (81) 2308500(78)
¹³¹ I	act. bepal.	16 (1) ?				1,5 (1) 6	17,5 (2) 6 (1)
²² Na	act. bepal.	0,6 (1) ?					0,6 (1) ?
³² P	act. bepal.	0,4 (1) 425					0,4 (1) 425

Overzicht toegepaste activiteiten (in mCi) en aantal projecten of industriële toepassingen
 Toepassingsgebied: Industrieel/projecten buiten lab.
 (tussen haakjes is vermeld het aantal instellingen waarop de gegevens betrekking hebben)

NUCLIDE		ACZKH (7)	BEDR (11)	DI/INS (24)	UN/HO (10)	ZKH (77)	TOTAAL (129)
¹⁴ C	act.			2,5 (2) 2 proj.			2,5 (2) 2 proj.
⁵⁷ Co	act.		0,5 (1) industr.				0,5 (1) industr.
⁶⁰ Co	act.				2 (1) 1 proj.		2 (1) 1 proj.
¹⁴¹ Ce	act.		434 (1) industr.				434 (1) industr.
¹³⁷ Cs	act.				2 (1) 1 proj.		2 (1) 1 proj.
³ H	act.		98000 (1) industr.				98000 (1) industr.
⁸⁵ Kr	act.		10412 (1) industr.				10412 (1) industr.
⁹⁰ Sr	act.				2 (1) 1 proj.		2 (1) 1 proj.
^{99m} Tc	act.		1600 (1) industr.				1600 (1) industr.
⁹⁹ Tc	act.				1,1 (1) 1 proj.		1,1 (1) 1 proj.
⁶⁵ Zn	act.				2 (1) 1 proj.		2 (1) 1 proj.

Overzicht toegepaste activiteiten (in mCi) en aantal mensdagen
 Toepassingsgebied: Biomedisch/fysisch/lab. onderzoek
 (tussen haakjes is vermeld het aantal instellingen waarop de gegevens betrekking hebben)

NUCLIDE		ACZKH (7)	BEDR (11)	DI/INS (24)	UN/HO (10)	ZKH (77)	TOTAAL (129)
²⁰⁷ Bi	act. mnd				0,03 (1) 300		0,03 (1) 300
¹⁴ C	act. mnd	20,15 (4) 1051 (3)	678,3 (6) 465 (5)	119,37(14) 1945 (13)	314 (9) 5675 (7)	1,25 (1) ?	1133 (34) 9136 (28)
⁴⁵ Ca	act. mnd	14,2 (3) 725 (2)	0,95 (1) 75	0,26 (2) 11	27,83 (6) 226 (3)		43,24 (12) 1037 (8)
¹⁰⁹ Cd	act. mnd			1 (1) 250	7 (2) 30 (1)		8 (3) 280 (2)
¹⁴¹ Ce	act. mnd	0,5 (1) 2			1,65 (2) 3 (1)		2,15 (3) 5 (2)
³⁶ Cl	act. mnd				1,2 (4) 25 (1)		1,2 (4) 25 (1)
⁵⁷ Co	act. mnd	16,47 (4) 153 (3)	0,2 (1) ?	0,2 (2) 403	57,55 (5) 336 (3)		74,42 (12) 892 (8)
⁶⁰ Co	act. mnd.		10 (2) 53	0,011 203			10,011 (4) 256
⁵¹ Cr	act. mnd	259,5 (3) 418		545 (4) 2100 (3)	157 (4) 190		961,5 (11) 2708 (10)
¹³⁴ Cs	act. mnd				0,1 (1) ?		0,1 (1) ?
¹³⁷ Cs	act. mnd		10 (2) 53	0,05 (1) 20	0,01 (1) 300		10,06 (4) 373
¹⁵² Eu	act. mnd		0,11 (1) 3				0,11 (1) 3
¹⁵⁵ Eu	act. mnd				8 (1) 1		8 (1) 1
⁵⁵ Fe	act. mnd		0,008 (1) 3		8 (2) 350		8,008 (3) 353
⁵⁹ Fe	act. mnd				6,51 (4) 240 83)		6,51 (4) 240 (3)
⁶⁷ Ga	act. mnd				40 (1) ?		40 (1) ?
¹⁵³ Gd	act. mnd				30 (1) 30		30 (1) 30
³ H	act. mnd	2145 (5) 2310 (4)	25023 (5) 1735 (4)	246389(10) 4165	3978 (9) 14122 (7)	65 (1) ?	277600 (30) 22332 (25)
¹⁹⁵ Hg	act. mnd				20 (1) 30		20 (1) 30
¹²³ I	act. mnd				20000 (1) 300		20000 (1) 300
¹²⁵ I	act. mnd	551,3 (4) 4468	6,07 (2) 5 (1)	593 (9) 3842 (8)	485,88(9) 3644 (7)	145 (1) ?	1781 (25) 11960 (20)
¹³¹ I	act. mnd	45 (2) 620	57 (1) 20	34 (3) 8 (2)	46,75 (4) 235 (2)		183 (10) 883 (7)

Overzicht toegepaste activiteiten (in mCi) en aantal mensdagen
 Toepassingsgebied: Biomedisch/fysisch/lab. onderzoek
 (tussen haakjes is vermeld het aantal instellingen waarop de gegevens betrekking hebben)

NUCLIDE		ACZKH (7)	BEDR (11)	DI/INS (24)	UN/HO (10)	ZKH (77)	TOTAAL (129)
¹¹¹ In	act.	30 (2)			0,1 (1)	9 (1)	39,1 (4)
	mnd	60 (1)			10	5	75 (3)
⁵⁴ Mn	act.			0,001 (1)	1,65 (4)		1,651 (5)
	mnd			3	335 (2)		338 (3)
²² Na	act.			0,001 (1)	0,501 (2)		0,502 (3)
	mnd			3	300 (1)		303 (2)
⁹⁵ Nb	act.				1,5 (1)		1,5 (1)
	mnd				?		?
⁶³ Ni	act.		0,004 (1)	1,114 (1)			1,118 (2)
	mnd.		3	100			103
³² P	act.	41 (4)	49,3 (2)	837,5 (5)	1503,4(8)	28,3 (1)	2460 (20)
	mnd	288 (3)	1190	745 (4)	5882 (6)	?	8105 (15)
²¹⁰ Pb	act.			1,84 (1)	0,01 (1)		1,85 (2)
	mnd			100	35		135
²¹⁰ Po	act.				0,002 (1)		0,002 (1)
	mnd				?		?
⁸¹ Rb	act.				20000 (1)		20000 (1)
	mnd				250		250
⁸⁶ Rb	act.	4 (1)		5 (1)	36 (3)		45 (5)
	mnd.	?		20	250 (1)		270 (2)
¹⁰³ Ru	act.	0,5 (1)			2,5 (1)		3 (2)
	mnd	2			?		2 (1)
³⁵ S	act.	85,445(4)	15,3 (2)	212,75(7)	525,6 (8)	8,75 (1)	848 (22)
	mnd	113 (3)	55	2430	2414 (6)	?	5012 (18)
⁴⁶ Sc	act.	1,5 (2)					1,5 (2)
	mnd	60					60
⁷⁵ Se	act.			1 (1)	0,2 (1)		1,2 (2)
	mnd			20	35		55
¹⁵¹ Sm	act.				288 (1)		288 (1)
	mnd				1		1
¹¹³ Sn	act.	1,5 (2)					1,5 (2)
	mnd	55					55
⁹⁰ Sr	act.		0,0007		0,05		0,051 (2)
	mnd		3		?		3 (1)
⁹⁹ Tc	act.				4,5 (1)		4,5 (1)
	mnd				?		?
^{99m} Tc	act.	15070 (3)			11000 (1)	6,5 (2)	26076 (6)
	mnd	245 (2)			200	77	522 (5)
⁸⁷ Y	act.				500 (1)		500 (1)
	mnd				15		15
⁶⁵ Zn	act.			1,177 (2)	1,4 (2)		2,577 (4)
	mnd			325	35 (1)		360 (3)

Overzicht toegepaste activiteiten (in mCi) en aantal kadavers
 Toepassingsgebied: Dier/plantexperimenten
 (tussen haakjes is vermeld het aantal instellingen waarop de gegevens betrekking hebben)

NUCLIDE	ACZKH (7)	BEDR (11)	DI/INS (24)	UN/HO (10)	ZKH (77)	TOTAAL (129)	
^{195m} Au	act. kadav.			1240 (1) 7		1240 (1) 7	
¹⁴ C	act. kadav.	0,25 (1) 17	1,6 (3) 675	7,48 (5) 741 (4)	13,35 (7) 468	22,7 (16) 1900 (15)	
⁴⁵ Ca	act. kadav.	4,7 (2) 180			27,2 (4) 22+100mnd	31,9 (6) 202+100mnd	
¹⁴¹ Ce	act. kadav.			4,4 (3) 62		4,4 (3) 62	
⁵⁷ Co	act. kadav.	0,025 (1) 3		0,025 (1) 3		0,05 (2) 6	
⁵¹ Cr	act. kadav.	1,4 (1) 296	5 (1) 55		57,07 (4) 531	63,5 (6) 882	
⁵⁹ Fe	act. kadav.		2 (1) 400	2,5 (2) 109	0,5 (1) 125	5 (3) 634	
³ H	act. kadav.	49,5 (3) 249	5,5 (2) 192	101 (2) 500	1375 (9) 1785	1531 (16) 2726	
¹²³ I	act. kadav.	0,1 (1) 1		50 (1) 240	230 (2) 31	58,5 (2) 37	338,6 (6) 309
¹²⁵ I	act. kadav.	1,25 (3) 409	1 (1) ?	69,1 (5) 820 (4)	118,7 (6) 826	0,4 (1) 125	190 (16) 2180 (14)
¹³¹ I	act. kadav.	300 (1) 400			132 (2) 60	34,2 (2) 12	466 (5) 472
¹¹¹ In	act. kadav.	9,37 (1) 63			4 (2) 71		13,3 (3) 134
⁹⁵ Nb	act. kadav.				4,4 (3) 82		4,4 (3) 82
⁸⁶ Rb	act. kadav.				4 (1) 75mnd		4 (1) 75mnd
¹⁰³ Ru	act. kadav.				5,4 (4) 67		5,4 (4) 67
³⁵ S	act. kadav.	5 (1) 81	1 (1) 1		30,45 (3) 147		36,45 (5) 229
⁴⁶ Sc	act. kadav.	0,025 (1) 2			1,025 (2) 9		1,05 (3) 11
¹¹³ Sn	act. kadav.	0,01 (1) 2			2 (3) 29		2,01 (4) 31
^{99m} Tc	act. kadav.	353 (3) 988			581 (3) 321	108 (2) 63	1042 (8) 1372
²⁰¹ Tl	act. kadav.					2,6 (1) 13	2,6 (1) 13
⁹⁰ Y	act. kadav.	1,5 (1) 30			1,5 (1) 30		3 (2) 60