

Analyse, inform and activate

# LAKA

Analyseren, informeren, en activeren

*Stichting Laka: Documentatie- en onderzoekscentrum kernenergie*

## De Laka-bibliotheek

Dit is een pdf van één van de publicaties in de bibliotheek van Stichting Laka, het in Amsterdam gevestigde documentatie- en onderzoekscentrum kernenergie.

Laka heeft een bibliotheek met ongeveer 8000 boeken (waarvan een gedeelte dus ook als pdf), duizenden kranten- en tijdschriften-artikelen, honderden tijdschriftentitels, posters, video's en ander beeldmateriaal. Laka digitaliseert (oude) tijdschriften en boeken uit de internationale antikernenergie-beweging.

De [catalogus](#) van de Laka-bibliotheek staat op onze site. De collectie bevat een grote verzameling gedigitaliseerde [tijdschriften](#) uit de Nederlandse antikernenergie-beweging en een verzameling [video's](#).

Laka speelt met oa. haar informatie-voorziening een belangrijke rol in de Nederlandse anti-kernenergiebeweging.

## The Laka-library

This is a PDF from one of the publications from the library of the Laka Foundation; the Amsterdam-based documentation and research centre on nuclear energy.

The Laka library consists of about 8,000 books (of which a part is available as PDF), thousands of newspaper clippings, hundreds of magazines, posters, video's and other material. Laka digitizes books and magazines from the international movement against nuclear power.

The [catalogue](#) of the Laka-library can be found at our website. The collection also contains a large number of digitized [magazines](#) from the Dutch anti-nuclear power movement and a [video-section](#).

Laka plays with, amongst others things, its information services, an important role in the Dutch anti-nuclear movement.

Appreciate our work? Feel free to make a small [donation](#). Thank you.



[www.laka.org](http://www.laka.org) | [info@laka.org](mailto:info@laka.org) | Ketelhuisplein 43, 1054 RD Amsterdam | 020-6168294



DE RADIOACTIEVE BESMETTING IN  
NEDERLAND TEN GEVOLGE VAN HET  
KERNREACTOR ONGEVAL IN TSJERNOBYL

COÖRDINATIE-COMMISSIE VOOR DE METINGEN  
VAN RADIOACTIVITEIT EN XENOBIOTISCHE STOFFEN



COÖRDINATIE-COMMISSIE VOOR DE METINGEN  
VAN  
RADIOACTIVITEIT EN XENOBIOTISCHE STOFFEN

DE RADIOACTIEVE BESMETTING IN NEDERLAND  
TEN GEVOLGE VAN  
HET KERNREACTOR ONGEVAL IN TSJERNOBYL

CCRX-secretaris voor  
Radioactieve stoffen:  
Ir. J.F. Stoutjesdijk

Commissie Rapportage  
Radioactiviteitsmetingen  
Tsjernobyl, voorzitter  
Dr.Ir. B.C.J. Zoeteman  
Oktober 1986

Eerder verschenen rapporten in deze reeks zijn:

- Cholinesterase remmende stoffen in Nederland
- Cadmium, de belasting van het Nederlandse Milieu
- Kwik in het Nederlandse milieu
- PCB's in Nederland

In voorbereiding zijn rapporten over broom, koper, stikstof en stikstofverbindingen, ozon en polycyclische aromaten. De genoemde rapporten, alsmede de jaarverslagen van de CCRX zijn verkrijgbaar bij het secretariaat van de commissie, postbus 450, 2260 MB Leidschendam.

## VOORWOORD

De Coördinatie-Commissie voor de Metingen van Radioactiviteit en Xenobiotische Stoffen (CCRX) heeft tot taak de door de verschillende rijksinstituten uit te voeren systematische meetprogramma's op elkaar af te stemmen en de onderlinge uitwisseling van meetgegevens tussen deze instituten te coördineren.

De CCRX vervult haar taak onder andere door het verzamelen en in overzichtelijke vorm jaarlijks presenteren van de metingen van radioactiviteit en xenobiotische stoffen in het biologisch milieu in Nederland.

Naar aanleiding van het ernstige ongeval in de kernenergiecentrale te Tsjernobyl is door de Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer aan de CCRX verzocht te rapporteren over de extra besmetting van mens en milieu met radioactiviteit door dit ongeval.

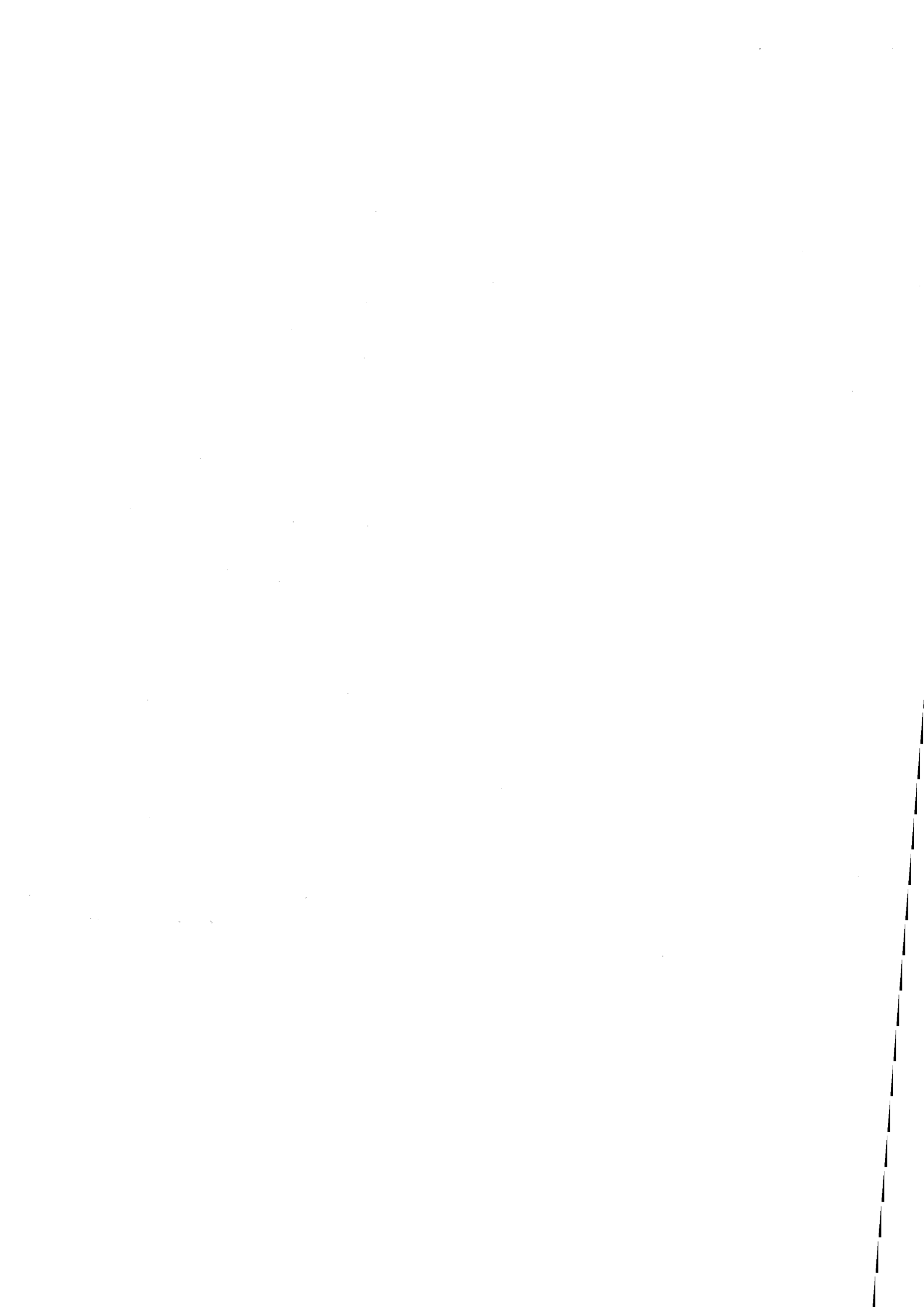
Het stemt tot voldoening dat op korte termijn, dankzij de medewerking van alle op dit gebied in Nederland werkzame instituten en instellingen, het mogelijk gebleken is een gedetailleerd overzicht van de radioactieve besmetting in Nederland op te stellen.

De CCRX heeft in haar rapport tevens aanbevelingen opgenomen over de inzet van extra meetcapaciteit om het verdere verloop van de radioactiviteit te blijven volgen. In de komende jaarberichten van de CCRX zal over dit verloop verslag gedaan worden. Het rapport zal ongetwijfeld een belangrijke rol spelen bij de verbetering van de bestaande alarmregelingen op het punt van het bepalen, verzamelen en evalueren van meetgegevens.

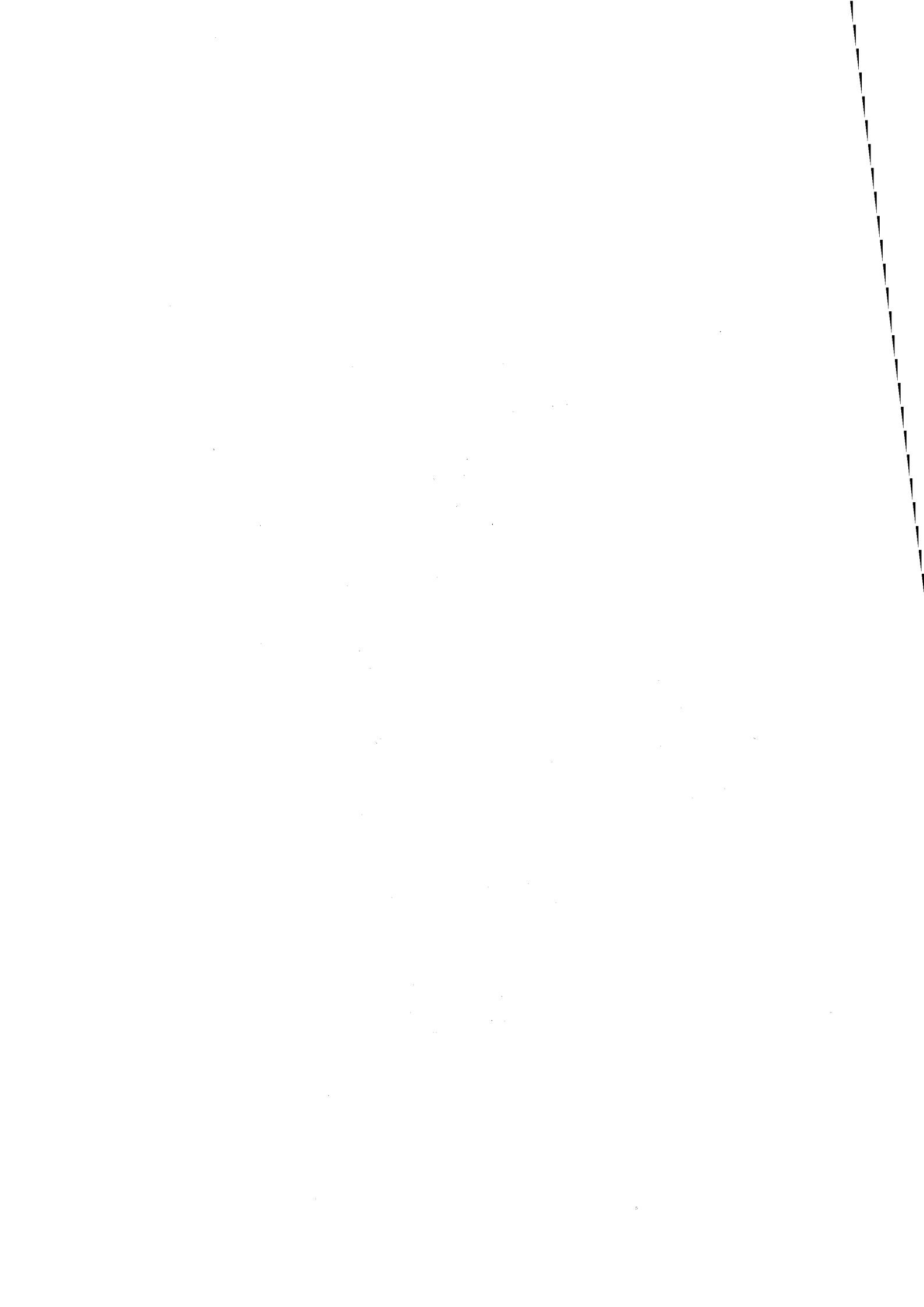
De Voorzitter van de CCRX



Ir. drs. R.B.J.C. van Noort



Grootheid	Eenheid en symbool	Verklaring
Radio-activiteit	becquerel Bq	In 1 Bq van een hoeveelheid radioactieve stof (radionucliden) vervalt elke seconde één atoomkern onder uitzending van $\alpha$ - en/of $\beta$ - en/of $\gamma$ -straling
Dosis-equivalent	sievert Sv	Algemene maat voor de biologische werkzaamheid van straling. 1 Sv $\beta$ - of $\gamma$ -straling betekent een energie-afgifte van 1 joule per kg weefsel. 1 Sv $\alpha$ -straling wordt al veroorzaakt door energie-afgifte van 0,05 joule per kg weefsel.
	rem	Een nog veel gebruikte verouderde eenheid voor het dosisequivalent: 1 rem = 0,01 Sv.
Effectief dosis-equivalent	sievert Sv	Maat voor de biologische werkzaamheid van straling voor personen bij ongelijkmatige bestralingen van het lichaam. Een effectief dosisequivalent van 1 Sv geeft gemiddeld even veel kans op kanker en erfelijke afwijkingen als een gelijkmatige bestraling van het gehele lichaam met een dosisequivalent van 1 Sv.
Stralings-niveau of exposietempo	röntgen per uur (R/h)	Maat voor de intensiteit van $\gamma$ -straling in lucht. Indien men zich bevindt in een ruimte met een stralingsniveau van 1 R/h, ontvangt men een dosisequivalent van ongeveer 0,01 Sv/h.





1. <u>INHOUD</u>	Blz.
Voorwoord	
Eenheden voor radioactiviteit en stralingsdosis	
1. Inhoud	1
2. Samenvatting en conclusies	5
3. Inleiding	11
4. Het kernreactorongeval in Tsjernobyl	15
5. Verspreiding van de radioactieve stoffen over Europa	21
5.1 Inleiding	21
5.2 Gebruikt model	21
5.3 Schatting van de bronsterkte	22
5.4 Verspreiding van de depositie	22
5.5 Vergelijking van de berekende waarden met de meetresultaten	25
6. Besmetting van het fysieke milieu in Nederland	29
6.1 Meteorologische situatie in Nederland tijdens de eerste weken na het ongeval in Tsjernobyl	29
6.2 Lucht	31
6.3 Depositie	36
6.4 Bodem	42
6.5 Stralingsniveau (Exposietempo)	43
6.6 Oppervlaktewater	47
6.7 Zuiveringsslib	50
7. Besmetting van het voedsel en van de mens in Nederland	51
7.1 Inleiding	51
7.2 Het Landelijk Meetnet Radioactiviteit in Voedsel van het Ministerie van Landbouw en Visserij	51
7.3 Gras	54

	blz.
7.4 Melk, melk- en zuivelprodukten	56
7.5 Vlees en vleesprodukten	60
7.6 Groenten en fruit	61
7.7 Visserijprodukten	62
7.8 Overige voedingsmiddelen	64
7.9 Drinkwater	65
7.10 Geïmporteerd voedsel	67
7.11 Personen	68
8. Radioactiviteit in goederen	73
8.1 Filters, vaar-, voer- en vliegtuigen	73
8.2 Geïmporteerde non-food produkten	75
9. Stralingsbelasting van de bevolking en de gevolgen daarvan voor de volksgezondheid	77
9.1 Stralingsdoses ten gevolge van het reactorongeluk in Tsjernobyl	77
9.2 Betekenis voor de volksgezondheid	83
9.3 Schattingen van de stralingsbelasting bij verblijf in het buitenland	88
10. Meetprogramma ter bewaking van de gevolgen van het reactorongeval voor de Nederlandse bevolking	91
11. Toekomstige bewakingsprogramma's	95
11.1 Inleiding	95
11.2 Paraatheid	97
11.3 Metingen van radioactiviteit in de lucht en van stralingsintensiteitsniveaus	97
11.4 Metingen in oppervlaktewater en drinkwater	100
11.5 Metingen in gras, melk, vlees en andere voedingsmiddelen	100
11.6 Verwerking van meetgegevens	101
11.7 Ondersteuning met behulp van modellen	102
11.8 Landbouwmaatregelen	104
11.9 Aanbevelingen en conclusies	104
12. Literatuur	109

<u>Bijlagen</u>	blz.
1. Samenstelling van de CCRX- commissie "Rapportage radioactiviteitsmetingen Tsjernobyl"	111
2. Lijst van instellingen die betrokken zijn geweest bij de milieu- metingen naar aanleiding van het Tsjernobylongeval	113
3. Lijst van werkdocumenten waarvan bij het opstellen van het CCRX-rapport gebruik is gemaakt	115
4. Overzicht van de Nederlandse metingen van I-131 in de lucht in mei 1986	119
5. In mei en juni in Nederland gehanteerde richtwaarden en getroffen maatregelen ter beperking van de stralingsbelasting van van de bevolking als gevolg van het reactorongeval te Tsjernobyl	123
6. Halveringstijden van voor het kernreactorongeval in Tsjernobyl van belang zijnde radionucliden	127
7. Begrippenlijst, symbolen	129
7.1 Begrippenlijst	
7.2 Lijst van symbolen voor chemische elementen	
7.3 Symbolen van grootheden en eenheden, van belang voor dit rapport	



## 2. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Op 26 april 1986 vond een ongeval plaats in een Russische kerncentrale te Tsjernobyl. De ontstane grafietbrand bracht de radioactiviteit in de atmosfeer en als gevolg hiervan bereikte op 2 mei een radioactieve luchtmassa Nederland. Vooral door regenval op 3 en 4 mei kwamen belangrijke hoeveelheden radionucliden op het aardoppervlak terecht, waardoor het stralingsniveau ten gevolge van gammastraling in het centrum van het land van 7 microröntgen per uur toenam tot bijna 20 microröntgen per uur. De eerste tien dagen werd het verhoogde stralingsniveau hoofdzakelijk bepaald door tellurium-132. Na half mei leverden cesium-134 (Cs-134) en cesium-137 (Cs-137) de grootste bijdragen aan het stralingsniveau. Daar Cs-137 een vijftienmaal langere halveringstijd heeft dan Cs-134 zal Cs-137 op lange termijn de belangrijkste rol spelen.

De Cs-137-depositie ten gevolge van het ongeval bedraagt, gemiddeld over het gehele land, 1800 becquerel per m<sup>2</sup> (Bq/m<sup>2</sup>), dat is ca. 40% van de in de jaren vijftig en zestig door kernwapenproeven opgetreden totale depositie aan Cs-137 van 4600 Bq/m<sup>2</sup>. In Nederland was de depositie van radioactief strontium en plutonium gering. Door de depositie in mei werd de in de bodem aanwezige hoeveelheid strontium-90 met 1% en die van plutonium-239 met 0,003% verhoogd.

In Europa behoort Nederland tot de gebieden die in relatief lichte mate door de radioactieve besmetting zijn getroffen.

Door verschillen in regenval in de eerste week van mei zijn in Nederland grote plaatselijke verschillen in de depositie ontstaan: de besmetting van de bodem vertoont de hoogste waarden (tot 6000 Bq/m<sup>2</sup> aan Cs-137) in een band die, samenvallend met de buienactiviteit op 3 en 4 mei, loopt van Oost-Brabant, over Utrecht naar de kop van Noord-Holland. De verschillen tussen de berekende hoogste en laagste deposities bedragen een factor tien. Teneinde de gevolgen van de besmetting door het reactorongeval voor Nederland beter te kunnen beoordelen is het gebruikelijke onderzoek van milieu en voedselketen uitgebreid. Behalve aan de situatie in Nederland wordt daarbij aandacht besteed aan geïmporteerde grondstoffen en producten. Na de radioactieve depositie op 3 en 4 mei werd een piek in de radioactieve besmetting van Rijn en Maas aangetroffen, waarbij globaal een verhoging van de activiteit met een factor honderd optrad ten opzichte van de normale waarde. Al spoedig zette zich een daling in. De daling zal zich steeds

trager voortzetten daar de met radioactiviteit besmette bodem en de radioactiviteit in de onderwaterbodems door afspoeling, opwerveling en nalevering het water opnieuw belasten. De besmetting van het IJsselmeerwater laat ten opzichte van het Rijnwater een afgevlakt verloop zien. Het slib van afvalwaterzuiveringsinstallaties vertoonde eind mei hogere waarden doordat de radioactiviteit na afspoeling van daken en straten pas na geruime tijd de zuiveringsinstallaties bereikte. Gehalten aan Cs-137 liepen op tot 7000 Bq/kg.

Piekwaarden in de besmetting van gras liepen vrijwel parallel aan de regen op 3 en 4 mei. De hoogste waarde voor de jodium-131-concentratie van gras is op 4 mei gevonden en bedroeg 3300 Bq/kg. Voor Cs-137 was de maximale waarde 1400 Bq/kg. Daarna daalden de activiteitsconcentraties zeer snel, zodat door het graasverbod van 4 t/m 7 mei is voorkomen dat de koeien het gras met de hoogste besmettingsgraad hebben gegeten.

De mediaanwaarde voor het Cs-137-gehalte in koemelk vertoonde op basis van de gegevens van het Landelijk Meetnet Radioactiviteit in Voedsel (LMRV) een langzame stijging van 2 becquerel per liter (Bq/l) op 4 mei tot 21 Bq/l op 21 mei waarna een geleidelijke daling is ingezet tot waarden beneden 5 Bq/l in juli.

De besmetting van schapemelk is aanzienlijk hoger geweest dan die van koemelk.

Van de groenten bleek spinazie het sterkst besmet. Piekwaarden van de concentratie van jodium-131 (I-131) tot 10 000 Bq/kg traden op 6 mei op met een gemiddelde waarde van 1600 Bq/kg. Op 15 mei lag het gemiddelde gehalte van I-131 in spinazie al weer beneden 650 Bq/kg. Het Cs-137-gehalte in spinazie kende een maximum op 6 mei van 1100 Bq/kg met als gemiddelde 200 Bq/kg.

Andere groenten, waarin in mei korte tijd I-131-waarden van meer dan 1000 Bq/kg voorkwamen, waren sla, peterselie, selderij en andijvie.

Het I-131-gehalte in rundvlees is niet boven 170 Bq/kg gekomen, voor Cs-137 trad op 15 mei een piekwaarde op van 200 Bq/kg.

Het sterkst werd het I-131 geconcentreerd in schildklierweefsel. De hoogste gevonden waarden in deze organen bedroegen voor runderen ca. 40 000 Bq per schildklier, voor schapen ca. 1000 Bq en voor varkens minder dan 10 Bq. Deze piekwaarden traden op omstreeks half mei.

In vis uit het IJsselmeer werd half juni ca. 20 Bq/kg aan Cs-137 gevonden.

Het drinkwater heeft in Nederland alleen de eerste drie weken een licht

verhoogde verontreiniging te zien gegeven, met maximale waarden voor de totale bèta-activiteit die ruimschoots beneden  $1000 \text{ Bq/m}^3$  bleven.

Al het geïmporteerde voedsel, behalve enkele partijen fruit uit Griekenland en Hongarije, voldeed aan de EG-norm van minder dan  $370 \text{ Bq/kg}$  aan I-131 en  $600 \text{ Bq/kg}$  aan Cs-134 en Cs-137 te zamen.

Bij metingen aan personen van o.a. I-131 in de schildklier werden geen verontrustende resultaten gevonden.

De geschatte gemiddelde extra stralingsbelasting (effectief dosis-equivalent) ten gevolge van het reactorongeval in de periode mei 1986 tot en met april 1987 voor éénjarige kinderen bedraagt ongeveer  $180 \text{ microsievert } (\mu\text{Sv})$  de overeenkomstige waarde voor tienjarigen is ongeveer  $100 \mu\text{Sv}$  en voor volwassenen ongeveer  $60 \mu\text{Sv}$ .

Voor latere jaren wordt de jaarlijkse stralingsbelasting een factor drie à zeven lager tot een niveau van ca.  $20 \mu\text{Sv}$ .

De stralingsbelasting na mei 1986 wordt voor volwassenen voornamelijk bepaald door de uitwendige straling van op de bodem aanwezig Cs-134 en Cs-137. Voor éénjarige kinderen levert koemelk gedurende het eerste jaar na het ongeval 60% van de stralingsdosis, daarna zal de uitwendige straling ook voor deze leeftijdsgroep de grootste bijdrage aan de dosis leveren.

Deze schattingen houden geen rekening met het verblijf van Nederlanders in het buitenland.

Het effect van de verhoging van de stralingsdosis kan, als wordt aangenomen dat iedere vorm van verhoogde straling een verhoogde kans geeft op kanker en dat de kans lineair toeneemt met de dosis, worden geschat op gemiddeld tot 3 extra doden per jaar voor de Nederlandse bevolking, gedurende een periode van enkele tientallen jaren.

Het ongeval te Tsjernobyl heeft aangetoond dat de bestaande nucleaire alarmregelingen dienen te worden aangepast, gezien de zeer grootschalige dimensies die bij een dergelijk ongeval in het geding kunnen zijn. In plaats van de provinciale regelingen dient een organisatie te worden ingesteld die zich richt op nationale en continentale schaal. Binnen een straal van  $1000 \text{ km}$  wordt Nederland omringd door ruim 120 nucleaire installaties. Daarnaast zijn er nog ruim 40 in aanbouw. Dit alles bevindt zich dichterbij dan het op ca.  $1800 \text{ km}$  afstand gelegen Tsjernobyl.

Na een ongeval bij een van deze installaties kunnen zich sterk verschillende situaties voordoen. Een mogelijkheid is dat radioactieve

stoffen ons land bereiken zonder dat daar enige melding of bericht aan is voorafgegaan. Teneinde in zulke gevallen zeer tijdig gewaarschuwd te zijn is het gewenst te beschikken over een automatisch continu signaleringssysteem voor eventuele besmettingen afkomstig van relatief dichtbij gelegen nucleaire installaties. Hiervoor wordt overwogen gebruik te maken van de bestaande meetplaatsen in het kader van het nationale luchtmeetnet. Tevens is een betere beschikbaarheid van goed uitgeruste meetwagens vereist, terwijl met een daarvoor uitgerust vliegtuig nuttige aanvullende gegevens kunnen worden verkregen.

Ten aanzien van de snelheid waarmee in de afgelopen maanden de bewaking van milieu en voedselketen op gang kwam, mag worden geconstateerd dat door een groot improvisatievermogen en een uitzonderlijk volhardende inzet van een klein aantal mensen in de eerste weken na het ongeval aan de belangrijkste problemen het hoofd kon worden geboden. De extra meetkosten ten gevolge van het reactorongeval worden geraamd op vijf miljoen gulden. Onder minder gunstige omstandigheden, zoals bij een ernstiger besmetting of bij een ongeval in de vakantietijd, zal het huidige bewakingssysteem niet afdoende kunnen reageren. Om hierin verbetering te brengen dient de omvang van het gekwalificeerde personeel bij de rijksdiensten door verschuivingen, eventueel met omscholingen en aanvullingen, minstens te worden opgevoerd van ongeveer tien naar twintig academici. Tevens is een vergelijkbare uitbreiding van het technisch ondersteunend personeel vereist. Gedeeltelijk zal dit kunnen worden opgevangen door normaal voor andere taken ingezette technische medewerkers ook vertrouwd te maken met radioactiviteitsmetingen. In dit verband springt het relatief grote aantal deskundigen in het oog in buurlanden als Groot-Brittannië en de Duitse Bondsrepubliek die elk over ten minste een honderdtal terzake deskundigen in overheidsdiensten beschikken.

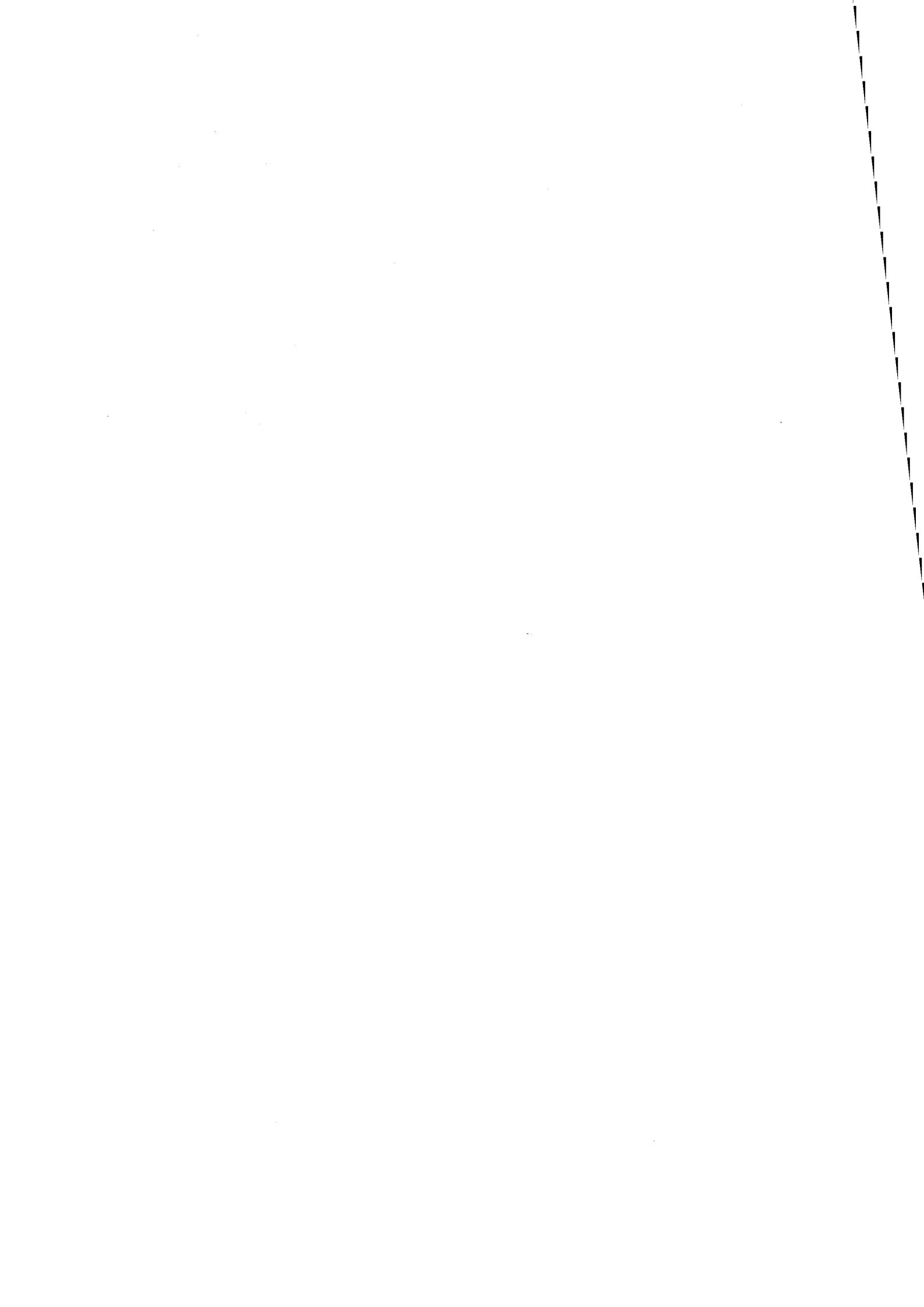
Tevens dient de paraatheid van de meetapparatuur te worden opgevoerd en gehandhaafd. Voor de aanbevolen uitbreiding van de instrumentele voorzieningen wordt een éénmalige investering van ca. 5 miljoen voorzien en dient op jaarbasis met een bedrag van ca. 3 miljoen aan personele en materiële lasten rekening te worden gehouden. Deze indicaties dienen nader in interdepartementaal verband te worden uitgewerkt. Een periodiek ringonderzoek door de verantwoordelijke meetinstellingen is tevens noodzakelijk.

Voor de verwerking van de meetresultaten uit binnen- en buitenland bij de



diverse ministeries en op het RIVM zullen betere gegevensverwerkende voorzieningen moeten worden gerealiseerd, teneinde sneller over een betrouwbaar overzicht van de situatie te kunnen beschikken. Tevens zijn betere communicatievoorzieningen tussen beleidscentrum en meetcentra en tussen de nationale en buitenlandse instanties noodzakelijk.

Teneinde over een goedwerkende vraagbaak te beschikken op het gebied van radiobiologische en radio-ecologische gegevens ten behoeve van de beleidscoördinatie dient een informatie- en documentatiefaciliteit te worden ingesteld.



### 3. INLEIDING

Op 26 april 1986 gebeurde er in een Russische kernenergiereactor in Tsjernobyl een ernstig ongeval waarbij grote hoeveelheden radioactieve stoffen in de atmosfeer vrij kwamen die door de wind over grote delen van Europa werden verspreid.

In Nederland leidden de berichten over de nadering van radioactieve lucht tot allerlei maatregelen. De Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer wees mede namens zijn betrokken collega's op 29 april 1986 de Hoofdinspecteur van de Volksgezondheid voor de Milieuhygiëne (VROM), Ir. M.E.E. Enthoven, aan tot Centraal Coördinator met als taak de gevolgen van het kernreactorongeval voor de Nederlandse bevolking zo veel mogelijk te beperken. De Centraal Coördinator verrichtte deze taak te zamen met een Bestuurlijke Coördinatiegroep waarvan hij voorzitter was. In deze groep hadden zitting vertegenwoordigers van de betrokken departementen van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, van Welzijn, Volksgezondheid en Cultuur, van Landbouw en Visserij, van Verkeer en Waterstaat, van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, van Economische Zaken, van Buitenlandse Zaken, van Binnenlandse Zaken en van Financiën. De vergaderingen werden zonodig door de bewindslieden van VROM, WVC en L en V bijgewoond. De Bestuurlijke Coördinatiegroep werd bijgestaan door een Technische Werkgroep.

Om snel en efficiënt te kunnen werken, werden door de Technische Werkgroep taakgroepen ingesteld voor afzonderlijke deelproblemen. Op 30 april ontving het RIVM de opdracht de radioactiviteitsmetingen te coördineren, welke opdracht 2 mei in een beschikking van de Minister van VROM en de Staatssecretaris van WVC werd vastgelegd.

Verschillende instellingen waren reeds in de avond van 29 april met metingen begonnen. Het RIVM, dat regelmatig controlemetingen uitvoert, intensiverde ook op 29 april het meetprogramma. Tegen de avond van 30 april werd het radioactiviteitsgehalte in lucht gemeten op twaalf plaatsen (RIVM: Bilthoven; KNMI/RIVM: De Bilt, Eelde, Den Helder, Vlissingen, Eindhoven; KFD: meetwagen in Zoetermeer (vanaf 2 mei); ECN: Petten; IRI: Delft; KVI: Groningen; KEMA: Arnhem en KCB: Borssele). Enkele van deze instellingen bepaalden ook het stralingsniveau. In Twente werd dit gedaan m.b.v. de meetwagen van de Regionale Brandweer te Amsterdam. Veelal werd

ook de radioactiviteit in regen gemeten. Het Ministerie van VROM verzocht aan het IRS, RBI-TNO, en de RD-TNO metingen uit te voeren aan mensen die in mei in Oost-Europa besmet konden zijn geraakt.

Op 2 mei bereikte een radioactieve wolk Nederland en vooral door de regens van 3 en 4 mei kwamen aanzienlijke activiteiten van diverse radionucliden op het aardoppervlak terecht. Dit had tot gevolg dat allerlei voedingsmiddelen als melk en bladgroenten besmet geraakten. Tijdens het overtrekken van de radioactieve wolk, alsmede enkele malen daarna, werd in opdracht van de Hoofdinspecteur Milieuhygiëne de lucht met behulp van een vliegtuig van Geosens bemonsterd. Op 2 mei werd door verschillende instituten begonnen met radioactiviteitsmetingen in gras en melk. Het merendeel van deze metingen, ook die van andere agrarische produkten en aan de grondstoffen hiervoor, werd uitgevoerd in het kader van het Landelijk Meetnet Radioactiviteit in Voedsel (LMRV) met ondersteuning van het RIKILT en de Stralingsbeschermingsdienst-Wageningen, alle van het Ministerie van Landbouw en Visserij. De Rijkskeuringsdienst van Waren begon eveneens met de controle van voedingsmiddelen en de DBW/RIZA intensiverde de metingen van oppervlaktewater. Het RIVO volgde met het bemonsteren van visserijprodukten. De waterleidingbedrijven die oppervlaktewater als grondstof gebruiken, en het RIVM bepaalden tevens de radioactiviteit in het ruwe en afgeleverde drinkwater. De KFD/AI van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid richtte zijn activiteit op voer-, vaar-, en vliegtuigen die in sterk besmet gebied vertoefd hadden. Tevens schonk deze instelling aandacht aan inlaatfilters van airconditioninginstallaties in Nederland, omdat zich in deze filters veel radioactieve stof kon hebben verzameld.

Het KNMI ondersteunde de meetactiviteiten voortdurend door het geven van weersverwachtingen. Op het hoogtepunt van de meetinspanning, omstreeks 5 tot 7 mei, werd dagelijks op dertien plaatsen de lucht gemeten, op een tiental plaatsen de neerslag, op een 25-tal plaatsen gras, bij 74 melkfabrieken de melkritten, op een 15-tal plaatsen oppervlaktewater en incidenteel slib en op tien plaatsen drinkwater. Bij diverse veilingen vonden bemonsteringen van groenten plaats. Op vijf plaatsen werden vis en mosselen bemonsterd. Vooral de eerste dagen werden de metingen van het RIVM en DBW/RIZA aangevuld met metingen van ECN, IRI, KVI, KEMA, KCB en TUE. Later kwam het accent van de aanvullende metingen te liggen bij de RKvW, KFD/AI, RVV, VKA (LMRV) en RIKILT.

De analyseresultaten werden tot en met 10 mei telefonisch doorgegeven aan het Bestuurlijk Coördinatiecentrum te Leidschendam, daarna aan het RIVM te Bilthoven. De eerste dagen geschiedde de presentatie van resultaten in de Bestuurlijke Coördinatiegroep en de Technische Werkgroep met behulp van geïmproviseerde tabellen en grafieken. Tussen 5 mei en 4 juni werden door het RIVM in totaal zeven voortgangsrapporten uitgebracht en op 13 mei en 20 juni werden samenvattende rapporten opgesteld, die door de Minister van VROM aan de Tweede Kamer werden aangeboden. Door de grote haast waarmee in de eerste weken na het ongeval moest worden gewerkt, zijn ook meetgegevens in deze rapporten opgenomen, waarop later correcties zijn aangebracht. Ditzelfde geldt in mindere mate voor de twee samenvattende rapporten voor de Tweede Kamer. Waar deze correcties het beeld van de situatie in ernstige mate beïnvloedden, zijn deze in dit rapport vermeld.

De CCRX kreeg op 5 mei van de Centraal Coördinator voor de maatregelen n.a.v. het reactorongeval, het verzoek om de meetgegevens over de radioactieve besmetting in Nederland, alsmede die uit andere Europese landen voor zover van belang voor ons land, te documenteren en te evalueren. Om aan dit verzoek te voldoen stelde de voorzitter van de CCRX op 15 mei een speciale commissie in onder voorzitterschap van Dr.Ir. B.C.J.Zoeteman, welke commissie na vier vergaderingen het onderhavige rapport heeft opgesteld. Naast het publiceren van de meetresultaten kreeg de commissie tot taak een berekening van de stralingsbelasting ten gevolge van het reactorongeval uit te voeren, aanbevelingen te formuleren om bij eventuele toekomstige rampen op het punt van metingen slagvaardig te kunnen reageren en hiaten in kennis te signaleren om het lopende bewakingsonderzoek te kunnen bijsturen. De samenstelling van de commissie wordt gegeven in bijlage 1.

In bijlage 2 is een lijst van instellingen opgenomen die betrokken zijn geweest bij de metingen naar aanleiding van het reactorongeval.

De in dit rapport verwerkte meetresultaten zijn gebaseerd op werkdocumenten die zijn opgesteld onder verantwoordelijkheid van de desbetreffende auteurs. In bijlage 3 wordt een overzicht van deze werkdocumenten gegeven.



#### 4. HET KERNREACTORONGEVAL IN TSJERNOBYL

In de Sowjet Unie speelt kernenergie een belangrijke rol bij de energievoorziening. In 1985 was het vermogen aan kernenergie ca. 28000 MW(e) (IAEA86a) en bedroeg daarmee 10% van het totaal opgewekte elektrische vermogen. Een groot deel van dit vermogen wordt geleverd door met grafiet gemodereerde en met licht water gekoelde reactoren, waarin licht verrijkt uranium (2,0%) wordt gebruikt. Dit is een type reactor dat in de westerse landen nauwelijks wordt toegepast en dat niet voldoet aan de in Nederland gestelde veiligheidseisen. In Tsjernobyl, een plaats 130 km ten noorden van Kiev, waren vier van deze reactoren van elk 1000 MW(e) in bedrijf en waren er twee in aanbouw. Volgens Russische mededelingen op een bijeenkomst, belegd van 25 tot 27 juni 1986 in Bilthoven, en op een vergadering van deskundigen, belegd van 25 tot 29 augustus 1986 in Wenen (Ru86), gebruikte men op zaterdag 26 april de reactor, voordat deze voor onderhoudswerkzaamheden zou worden stilgelegd, voor enkele experimenten met het veiligheidssysteem. Men liet hierbij de reactor werken op ca. 7% van het maximale vermogen, maar door een samenloop van omstandigheden en fouten van het personeel ontstonden er moeilijkheden met de koelwatervoorziening en om 1.24 uur 's nachts lokale tijd (25 april, 22.24 uur Nederlandse zomertijd) steeg het vermogen binnen drie seconden van 200 tot meer dan 530 MW(th) met plaatselijk extreme vermogenstoename met desastreuze gevolgen. Er trad een intense stoomvorming op en oververhitting van de brandstofstaven. Dit waren omstandigheden waarbij een reactie van de stoom met het zirconium in de reactorkern en andere chemische reacties mogelijk werden. Hierbij konden waterstof en koolmonoxyde worden gevormd, hoogst brandbare gassen die in contact met luchtzuurstof zeer explosief zijn. Er volgden twee enorme explosies die de reactor en een gedeelte van het reactorgebouw vernielden. Op meer dan 30 plaatsen in het reactorgebouw ontstonden branden en ook het grafiet van de reactor ontbrandde.

Bij de explosies en de daarop volgende brand kwamen grote hoeveelheden van de in de reactorkern aanwezige radioactieve stoffen vrij, in het bijzonder edelgassen en de relatief vluchtige jodium-, tellurium- en cesiumisotopen. Door de grote hitte ontstond een schoorsteeneffect, waardoor de radionucliden in de atmosfeer opstegen. Op 27 april zou de opstijghoogte meer dan 1200 m hebben bedragen. Door de aanvankelijke zuidoosten wind werd

de radioactieve pluim naar het noordwesten, richting Scandinavië, gedreven. Door het m.b.v. helicopters storten van borium, dolomiet, zand, klei en lood op de brandende reactorkern liep de temperatuur in de kern niet verder op en daalden de hoeveelheden vrijkomende radionucliden. Na 1 mei steeg de temperatuur echter toch weer en de lozingen namen opnieuw toe. Pas op 6 mei is men er ten slotte in geslaagd de brand te blussen waardoor er daarna geen grote hoeveelheden radionucliden meer vrijkwamen.

In tabel 4.1. wordt een overzicht gegeven van de dagelijkse lozingen en in tabel 4.2. van de samenstelling van het radionucliden mengsel, dat op 26 april is vrijgekomen en van de totale hoeveelheid die tot 6 mei is geloosd. Deze gegevens zijn berekend m.b.v. de resultaten van metingen in de omgeving van de kerncentrale. Van de meeste radionucliden is ongeveer 3% van de reactorinhoud vrijgekomen. De totale hoeveelheid radioactieve edelgassen is waarschijnlijk ontsnapt en van de vluchtige elementen jodium, tellurium en cesium is 10 à 20% geloosd. In totaal zou volgens het Russische IAEA-rapport (Ru86) tot 6 mei een hoeveelheid materiaal (exclusief de radioactieve edelgassen) zijn vrijgekomen met op dat moment een activiteit van  $2 \cdot 10^{18}$  Bq, d.w.z. ongeveer 3,5% van de totale inhoud van de reactor ten tijde van het ongeval.

De eerste aanwijzing voor de landen buiten de Sowjet Unie dat er iets bijzonders was gebeurd, kwam uit Kajaani in Finland, waar op de avond van 27 april na een hevige regenbui stralingsniveaus van 70 à 100  $\mu$ R/h werden gemeten. Normaal is dit niveau minder dan 10  $\mu$ R/h. Daarna werd in Zweden op maandagmorgen, 28 april een verhoogde radioactiviteit in de lucht waargenomen. Aanvankelijk dacht men aan een ongeval in een Zweedse kernreactor en eerst na vele uren kon de ware oorzaak van de luchtbesmetting worden vastgesteld. Pas om 21 uur meldde het Russische persbureau Tass dat er in Tsjernobyl een ongeval was gebeurd. Op dinsdag 29 april maakte Tass bekend dat er door een ongeval met reactor nr. 4 twee doden waren te betreuren. Later werd medegedeeld dat één slachtoffer was overleden aan uitgebreide brandwonden en het andere t.g.v. verwondingen door vallend materiaal bij de explosie.

De omgeving van de centrale werd radioactief besmet en overal werden verhoogde stralingsniveaus gemeten. In Pripjat, een stad met 49000 inwoners ongeveer 3 km ten westen van de reactor, werd de bevolking onmiddellijk aangeraden om binnen te blijven en om de ramen te sluiten. Ook werden jodiumtabletten uitgedeeld. Het stralingsniveau steeg pas tot



onrustbarende hoogte in de avond van de dag van het ongeval, toen lucht met radionucliden uit de reactor in de richting van de stad werd gevoerd. Om 21 uur werd een niveau van 0,01 à 0,14 R/h gemeten en zondagochtend, 27 april, om 7 uur plaatselijke tijd zelfs 0,6 R/h. Een verblijf in een omgeving met een stralingsniveau van 0,6 R/h zal in een uur een stralingsdosis van ongeveer 0,005 Sv (5000  $\mu$ Sv) opleveren, dat is voor leden van de bevolking de algemeen aanvaarde jaardosislimiet voor blootstelling aan radioactieve stoffen. Indien men binnen blijft, zal de dosis kleiner zijn.

Daar het stralingsniveau bleef stijgen werd op 27 april om 14 uur met de evacuatie van de stad begonnen. Deze was om 17 uur voltooid. In sommige delen van de stad werd dagenlang meer dan 1 R/h gemeten; op 6 mei was het niveau tot een derde gedaald.

In totaal zijn ongeveer 135.000 mensen uit de omgeving van Tsjernobyl geëvacueerd tot op een afstand van 30 km van de reactor en plaatselijk tot op grotere afstanden.

Vele personeelsleden van de kerncentrale ontvingen in de eerste dagen na het ongeval hoge stralingsdoses en 28 van hen waren hierdoor begin juli overleden. Onder de bevolking zijn geen directe slachtoffers van het ongeval gevallen. De stralingsdosis t.g.v. uitwendige straling van op de grond gedeponeerde radionucliden is voor het meerendeel van de geëvacueerde personen onder 0,25 Sv gebleven en gemiddeld kan de individuele dosis op ca. 0,1 Sv worden geschat. In het Europese gedeelte van de Sowjet Unie is voor het gebied met een bevolking van 74 miljoen inwoners waar de meeste radioactieve stoffen zijn gevallen, berekend dat elk individu gemiddeld ca. 1200  $\mu$ Sv zal ontvangen in 1986 en 4000  $\mu$ Sv in de volgende 50 jaar. Hierbij is echter niet de dosis t.g.v. het consumeren van besmet voedsel inbegrepen.

Na een maand was het stralingsniveau bij de noordwestelijke grens van de Sowjet Unie ca. 10  $\mu$ R/h, dat is dicht bij het achtergrondniveau. In het zuidwesten, bij de Roemeense grens, werd half mei 20-40  $\mu$ R/h gemeten.

Na de eerste melding uit Zweden werd in de volgende dagen in steeds meer landen in Europa verhoogde activiteiten in de lucht geconstateerd. Op 2 mei bereikte met radioactieve stoffen besmette lucht Nederland.

Tabel 4.1

Per dag in Tsjernobyl in de atmosfeer geloosde hoeveelheden radioactieve stoffen, berekend per 6 mei 1986. De mogelijke fout in de waarden wordt geschat op  $\pm 50\%$  (Ru86)

Datum	Hoeveelheid	Bijzonderheden
	$10^{15}$ Bq	
26 april	440	Bij de explosie vrijgekomen radionucliden (excl. edelgassen); samenstelling als in de reactorkern, verrijkt aan vluchtige elementen als jodium, tellurium en cesium.
27 april	150	Afname van de lozingen t.g.v. de maatregelen om de
28 april	130	grafietbrand te blussen en "the filtration of substances"
29 april	100	die uit de reactorkern vrijkwamen.
30 april	75	
1 mei	75	
2 mei	150	Toename van de lozingen, aanvankelijk van vooral jodium,
3 mei	190	daarna van het gehele nuclidenmengsel, t.g.v. verhitting
4 mei	260	van de kern door restwarmteontwikkeling.
5 mei	300	
6 mei	4	Snelle afname van de lozingen na het doven van de
9 mei	0,4	brand en de tegenmaatregelen.
23 mei	$7 \cdot 10^{-4}$	

Tabel 4.2

Samenstelling van het bij het reactorongeval in Tsjernobyl vrijgekomen radionuclidenmengsel\*.

Radio-nuclide	Hal-verings-tijd	Lozingen		Percentage van de reactorinhoud, tot 6 mei vrijgekomen %
		op 26 april $10^{15}$ Bq	totale lozingen tot 6 mei $10^{15}$ Bq	
Kr-85	10,7 jaren		30	tot 100
Kr-85m	4,48 uren	5,6	-	tot 100
Sr-89	50,5 dagen	9,2	80	4,0
Sr-90	28,8 jaren	0,6	8	4,0
Zr-95	64,0 dagen	17	140	3,2
Mo-99	2,75 dagen	17	110	2,3
Ru-103	39,4 dagen	22	120	2,9
Ru-106	367 dagen	7,4	60	2,9
I-131	8,04 dagen	170	270	20
Te-132	3,25 dagen	150	50	15
Xe-133	5,25 dagen	180	1700	tot 100
Cs-134	753 dagen	5,6	20	10
Cs-137	30,17 jaren	11	40	13
Ba-140	12,8 dagen	18	160	5,6
Ce-141	32,5 dagen	15	100	2,3
Ce-144	284 dagen	17	90	2,8
Np-239	2,35 dagen	100	40	3,2
Pu-238	87,74 dagen	$4 \cdot 10^{-3}$	0,03	3,0
Pu-239	24100 jaren	$4 \cdot 10^{-3}$	0,03	3,0
Pu-240	6570 jaren	$7 \cdot 10^{-3}$	0,04	3,0
Pu-241	14,4 jaren	0,7	5	3,0
Pu-242	376000 jaren	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	3,0
Cm-242	162,8 dagen	0.11	0,8	3,2

\* Mogelijke fout in de hoeveelheden: 50%



## 5. VERSPREIDING VAN DE RADIOACTIEVE STOFFEN OVER EUROPA

### 5.1. Inleiding

Om de verspreiding van radioactieve stoffen over Europa te beschrijven is gebruik gemaakt van het eerder door het RIVM ontwikkelde atmosferische transportmodel GRID. Met behulp van dit model werd, uitgaande van een geschatte emissie en van onder meer wind- en neerslaggegevens, voorbewerkt door het KNMI, de concentratie in de lucht en de depositie van de belangrijkste componenten berekend. Er werd gewerkt met rastereenheden van ca.  $80 \times 80 \text{ km}^2$ . De berekende waarden werden vergeleken met meetgegevens. Daarvoor kwamen vooral luchtconcentraties in aanmerking, omdat deze representatief zijn voor grotere gebieden. De veronderstelling over de emissie werd zodanig aangepast, dat een redelijke overeenstemming met de meetresultaten werd verkregen. Met de zo aangepaste emissie werden vervolgens concentraties en deposities berekend voor gebieden waarvoor onvoldoende representatieve metingen beschikbaar waren.

### 5.2. Gebruikt model

Het transport van de in Tsjernobyl geloosde radionucliden, zowel horizontaal als vertikaal, is berekend met een gemodificeerde versie van het genoemde GRID-model voor luchtverontreiniging en zure depositie in West-Europa. Hierbij werd van windvelden op twee hoogten en van gemeten menglaaghoogten gebruik gemaakt. Voorts werd rekening gehouden met radioactief verval en met natte en droge depositie. Voor de berekening van de natte depositie werd gebruik gemaakt van waargenomen neerslaghoeveelheden. Gezien de beperkte detaillering in ruimte en tijd van de beschikbare neerslaggegevens kunnen lokale variaties in de natte depositie binnen ca. 50 km met dit model niet worden berekend. Parameters voor droge en natte depositie werden gekozen in overeenstemming met meetgegevens.

### 5.3. Schatting van de bronsterkte

Er was aanvankelijk weinig bekend over de hoeveelheden radionucliden die in Tsjernobyl waren vrijgekomen. Op grond van de gegevens van andere reactoren en op grond van voorlopige modelberekeningen en vergelijking met metingen, werd besloten bij de modelberekeningen uit te gaan van een totale bronsterkte van  $700 \cdot 10^{15}$  Bq aan I-131 en  $50 \cdot 10^{15}$  Bq aan Cs-137, hetgeen waarschijnlijk ongeveer een kwart was van de totale hoeveelheden die in de reactorkern aanwezig waren bij het ongeval. Volgens de later gepubliceerde Russische gegevens (Ru86) zou de emissie tot 6 mei  $270 \cdot 10^{15}$  Bq I-131 en  $40 \cdot 10^{15}$  Bq Cs-137 hebben bedragen (zie ook 4); deze cijfers zijn gebaseerd op de in de Sowjet Unie neergeslagen activiteit, en daardoor mogelijk een onderschatting.

Het was aannemelijk dat de vluchtige elementen vooral gedurende de eerste dagen zouden zijn vrijgekomen. In de modelberekeningen is dan ook uitgegaan van een exponentieel afnemende bronsterkte.

De effectieve bronhoogte die door de - onbekende - warmteontwikkeling veel hoger zou kunnen zijn dan de gebouwhoogte, werd gevarieerd tussen 500 m, en als maximaal mogelijke waarde, 1500 m. De invloed van de bronhoogte is echter alleen binnen enkele honderden kilometers van de bron van groot belang.

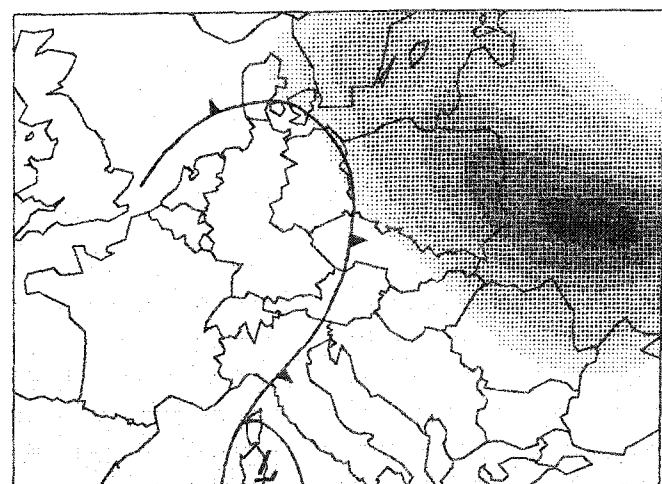
### 5.4. Verspreiding en depositie

Concentraties en deposities van I-131 zoals berekend met het model, bij een bronhoogte van 500 m en een bronhalveringstijd van twee dagen zijn gepresenteerd in figuur 5.4.1. De figuren geven een beeld van de verspreiding dat bevestigd wordt door metingen.

Direct na het ongeval verplaatste de radioactieve wolk zich volgens de berekening in noordwestelijke richting en bereikte op 27 april de Zweedse kust (figuur 5.4.1a). Met de regen werden grote hoeveelheden radioactieve stoffen in Scandinavië gedeponeerd. De op 27 april geloosde stoffen werden grotendeels in de richting van Midden- en West-Europa gevoerd. Onder invloed van het hogedrukgebied dat zich boven West-Europa vormde werd op 28 april een deel van de radioactieve stoffen van Scandinavië naar Oost-Europa gevoerd, terwijl nieuwe emissies in Tsjernobyl in oostelijke richting getransporteerd werden (figuur 5.4.1b). Voor 29 april werden concentraties

Figuur 5.4.1. Berekende daggemiddelden van de activiteitsconcentraties<sup>3</sup> voor I-131 in lucht (Bq/m<sup>3</sup>) voor 27 april (a), 28 april (b), 30 april (c) en 2 mei (d).

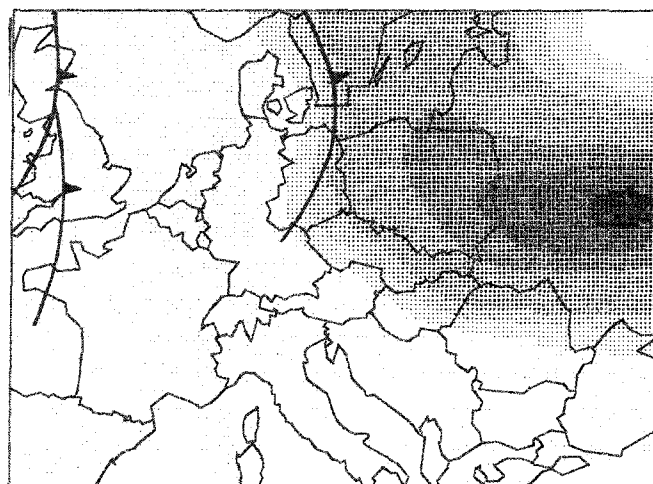
a 27 april 1986



I-131 CONCENTRATION (BQ/M3); H=500M; T1/2=2 DAYS  
DATE: 86 4 27



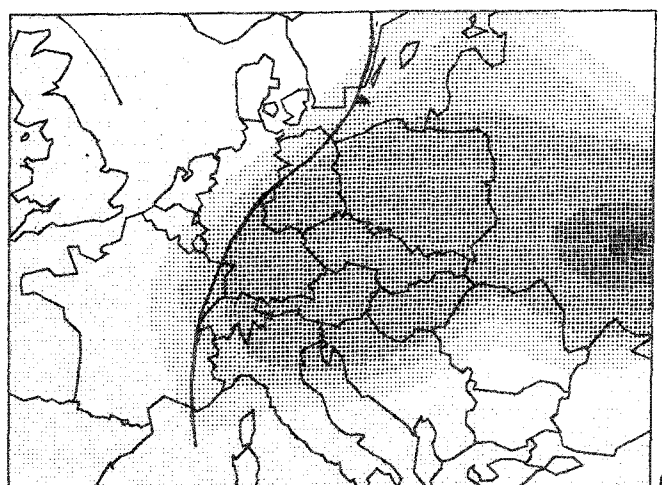
b 28 april 1986



I-131 CONCENTRATION (BQ/M3); H=500M; T1/2=2 DAYS  
DATE: 86 4 28



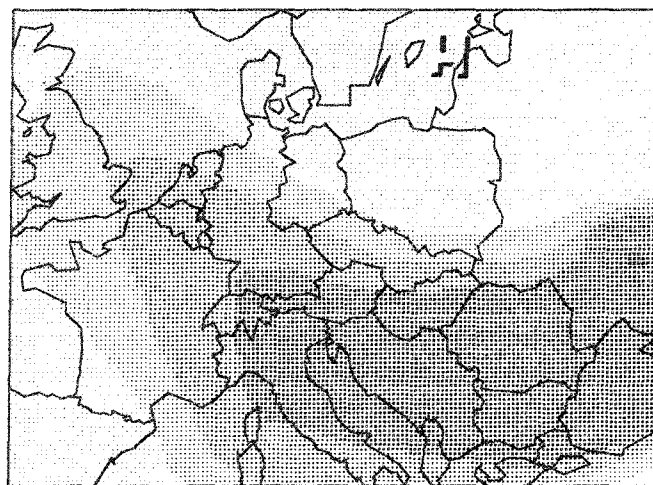
c 30 april 1986



I-131 CONCENTRATION (BQ/M3); H=500M; T1/2=2 DAYS  
DATE: 86 4 30



d 2 mei 1986



I-131 CONCENTRATION (BQ/M3); H=500M; T1/2=2 DAYS  
DATE: 86 5 2



van meer dan  $10 \text{ Bq/m}^3$  berekend voor het westelijke gedeelte van de Sowjet Unie, Polen, Tsjechoslowakije, de DDR, Oostenrijk, Hongarije en het zuidoosten van de Duitse Bondsrepubliek. Van 30 april tot 2 mei vond transport vanuit Tsjernobyl plaats in zuidelijke en westelijke richting (figuur 5.4.1c). Vanuit Centraal-Europa verplaatste de radioactieve wolk, waarvan de emissie eind april had plaatsgevonden, zich onder invloed van het naar het noordoosten wegtrekkende hogedrukgebied in noordwestelijke richting. Op 2 mei strekte de pluim zich uit over ons gehele land. Ook in grote delen van Groot-Brittannië en Frankrijk, in België en in Duitsland werden activiteitsconcentraties in lucht van  $2-10 \text{ Bq/m}^3$  berekend (figuur 5.4.1d). Op 3 mei werd de emissie van Tsjernobyl getransporteerd naar het zuiden, richting Turkije. In de volgende dagen namen de berekende hoge concentraties in de Balkan geleidelijk af. Vanaf 4 mei werden voor Nederland bij de dan tot stand gekomen noordwestelijke stroming geen verhogingen meer berekend. Op 5 en 6 mei lag in vrijwel geheel West-Europa de concentratie beneden  $2 \text{ Bq/m}^3$ . De hoogste concentraties werden dan berekend voor de Balkan en rondom de Zwarte Zee.

Het berekende depositieveld wijkt in het algemeen sterk af van het concentratieveld. Omdat het verwijderen van radioactieve stoffen uit de lucht door de regen veel efficiënter geschiedt dan droge depositie, wordt de totale depositie sterk bepaald door het neerslagveld. Slechts dicht bij de bron zal de droge depositie een belangrijke bijdrage geven.

In de figuren 5.4.2 en 5.4.3 zijn de berekende geaccumuleerde deposities van I-131 en Cs-137 gegeven over de periode 26 april tot en met 6 mei. Hierbij zijn de dagelijkse deposities rechtstreeks opgeteld. Het voordeel van presentatie in deze vorm is dat hieruit doses kunnen worden geschat door vermenigvuldiging met de gemiddelde verblijftijd en de dosisconversiefactoren.



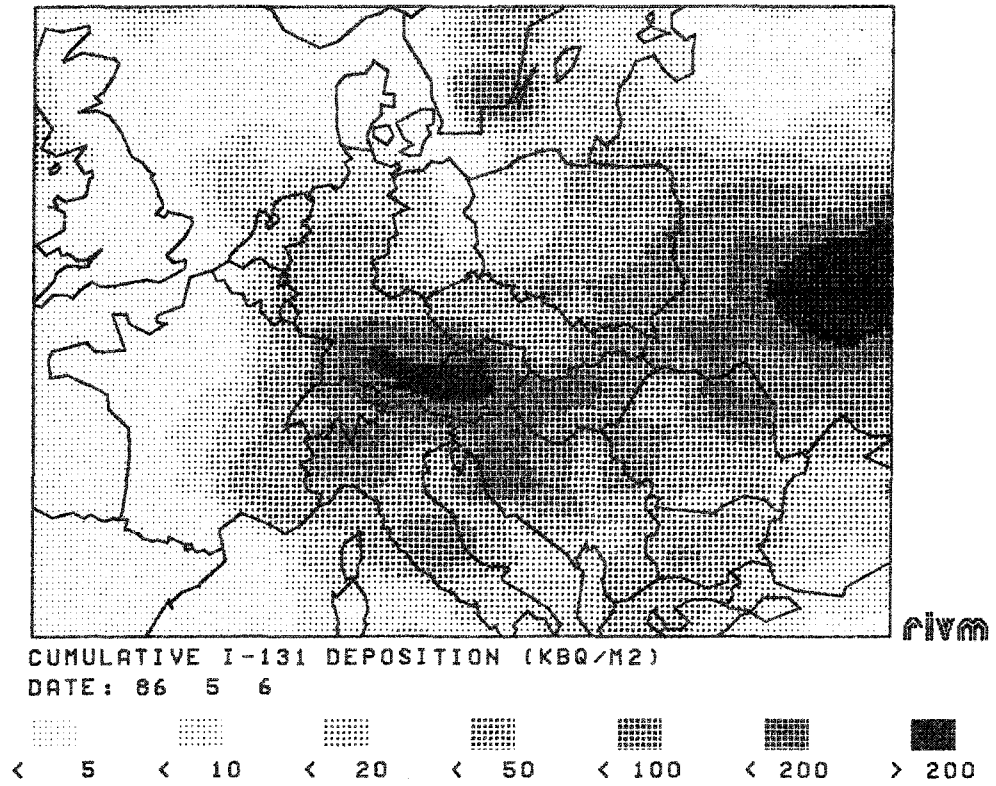
### 5.5. Vergelijking van de berekende waarden met de meetresultaten

Bij vergelijking van de berekende en gemeten luchtconcentraties voor een aantal meetstations, blijkt dat de variaties in de metingen groot zijn: dicht bij elkaar gelegen stations kunnen grote verschillen vertonen.

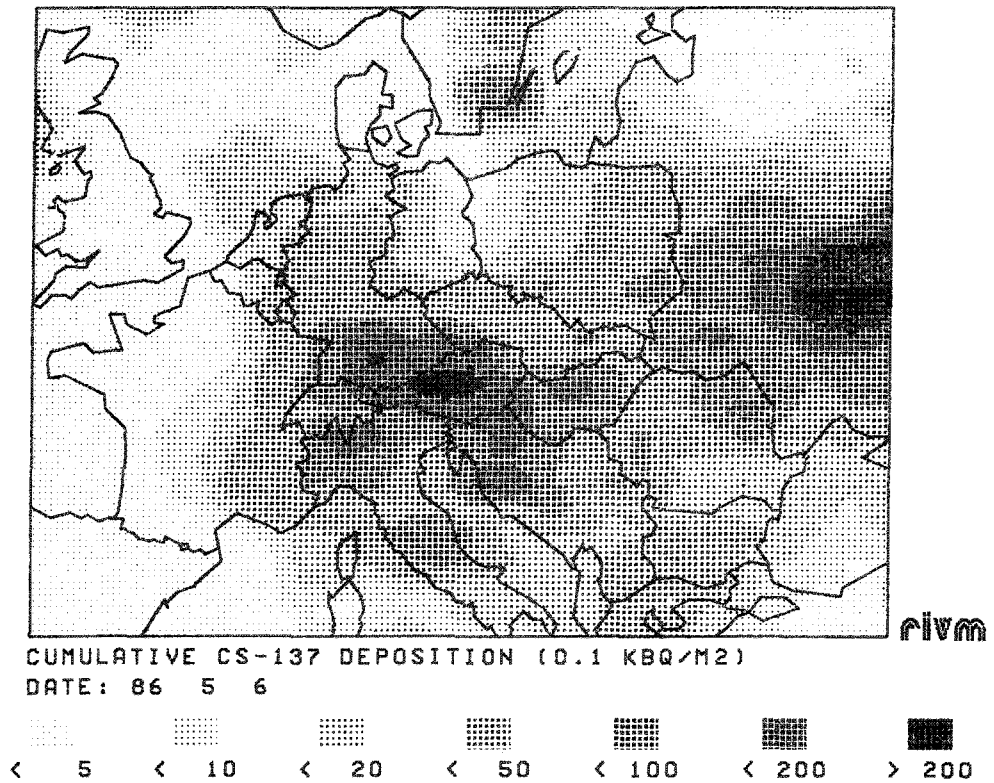
In het algemeen is de overeenstemming tussen de gemeten en berekende activiteitsconcentraties redelijk (Le86). De indruk bestaat dat het model een te snelle verbreding van de pluim voorspelt en daarmee een te snelle verdunning van de activiteit. Voor de voor Nederland berekende I-131-concentratie in de lucht is de overeenkomst met de gemiddelde gemeten waarde goed te noemen.

Een overzicht van gemeten deposities van I-131 en Cs-137 is gegeven in de figuren 5.5.1 en 5.5.2. Gezien de onzekerheden in de meetgegevens - het is niet altijd zeker of de metingen betrekking hebben op de activiteit in regenwater, bodem of gras - en het niet altijd beschikbaar zijn van volledige tijdreeksen, zijn deze figuren slechts indicatief. Door het zeer lokale karakter van de neerslag wordt vergelijking met berekende deposities (figuren 5.4.2 en 5.4.3) verder bemoeilijkt; de depositie onder lokale regenbuien kan een factor tien hoger zijn dan het gemiddelde over het grotere gebied van een rastereenheid ( $80 \times 80 \text{ km}^2$ ). Voor gebieden met verhoogde depositie, zoals Scandinavië en Zuid-Duitsland komen de modelberekeningen goed overeen met de meetresultaten. Ook de voor Griekenland, de Balkan, Noord- en Midden-Italië berekende deposities zijn inmiddels door metingen bevestigd.

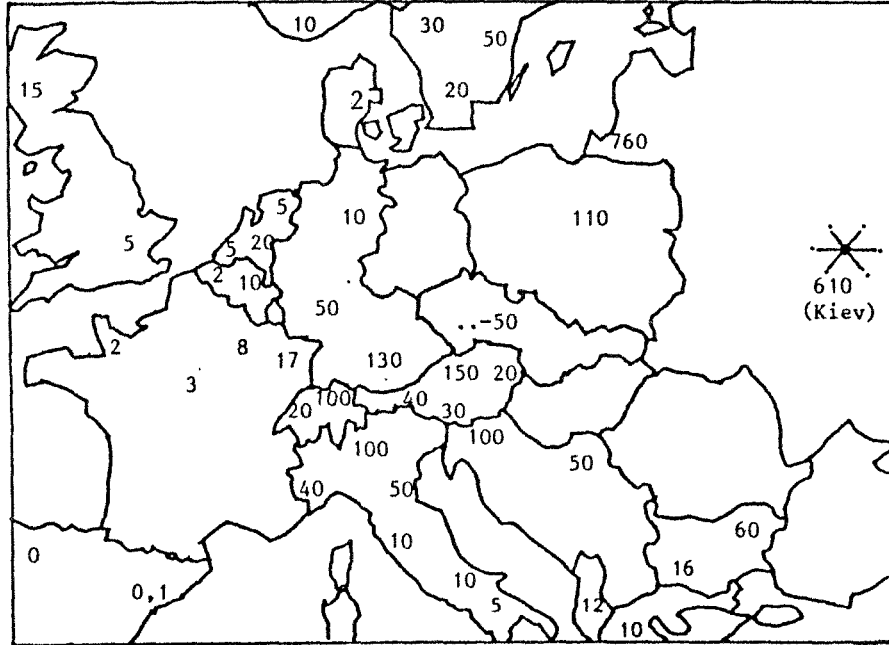
Figuur 5.4.2. Berekende geaccumuleerde I-131-deposities ( $\text{kBq/m}^2$ )  
over de periode 26 april tot en met 6 mei 1986.



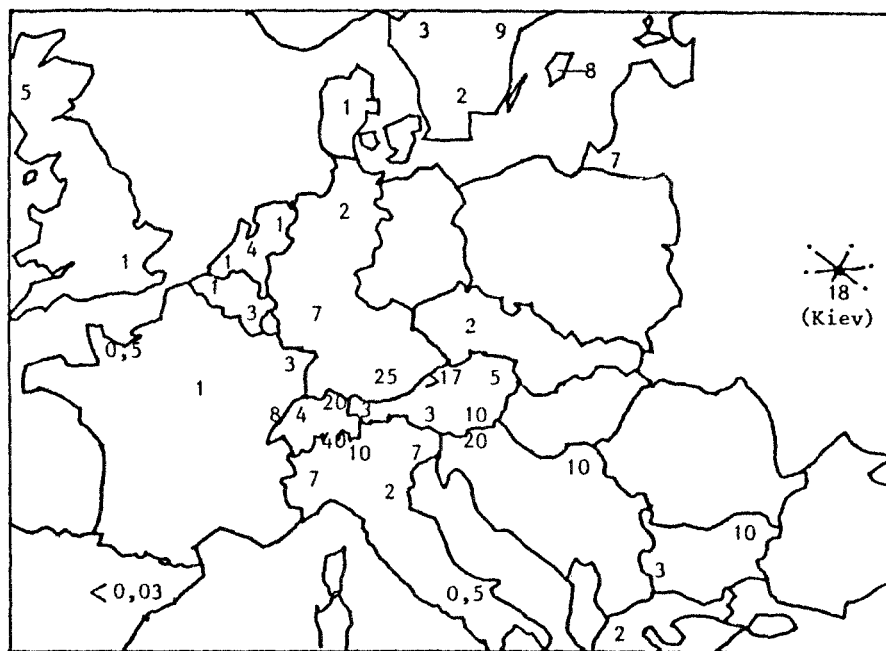
Figuur 5.4.3. Berekende geaccumuleerde Cs-137-deposities ( $\text{kBq/m}^2$ )  
over de periode 26 april tot en met 6 mei 1986.

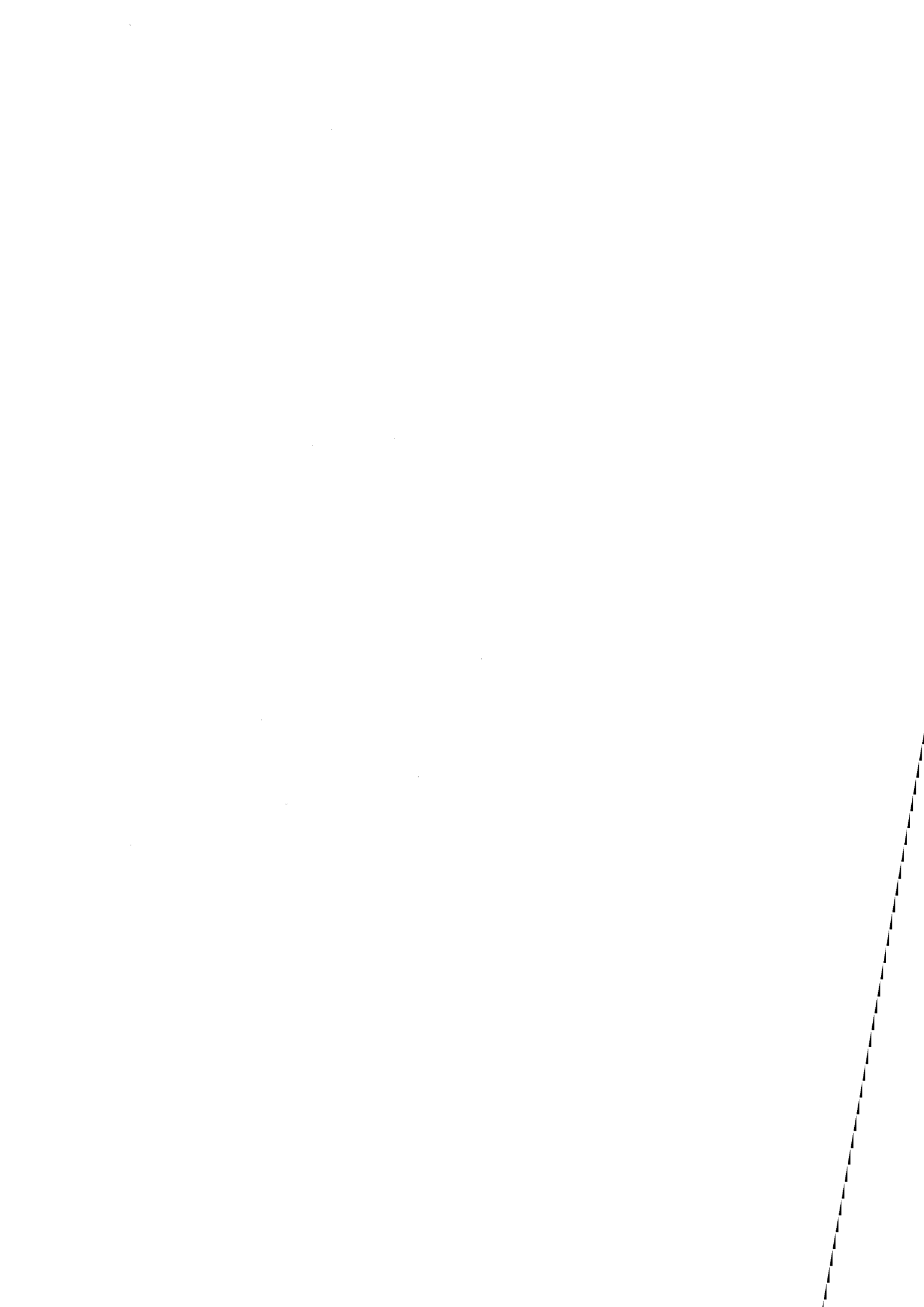


Figuur 5.5.1. Gemeten deposities van I-131 in  $\text{kBq/m}^2$  over de periode 26 april tot en met 15 mei 1986 (Am86, Eg86, IAEA86b, OECD86, Ru86, WHO86).



Figuur 5.5.2. Gemeten deposities van Cs-137 in  $\text{kBq/m}^2$  over de periode 26 april tot en met 15 mei 1986 (Am86, Eg86, IAEA86b, OECD86, Ru86, WHO86).





## 6. BESMETTING VAN HET FYSIEKE MILIEU IN NEDERLAND

### 6.1. Meteorologische situatie in Nederland tijdens de eerste weken na het ongeval in Tsjernobyl

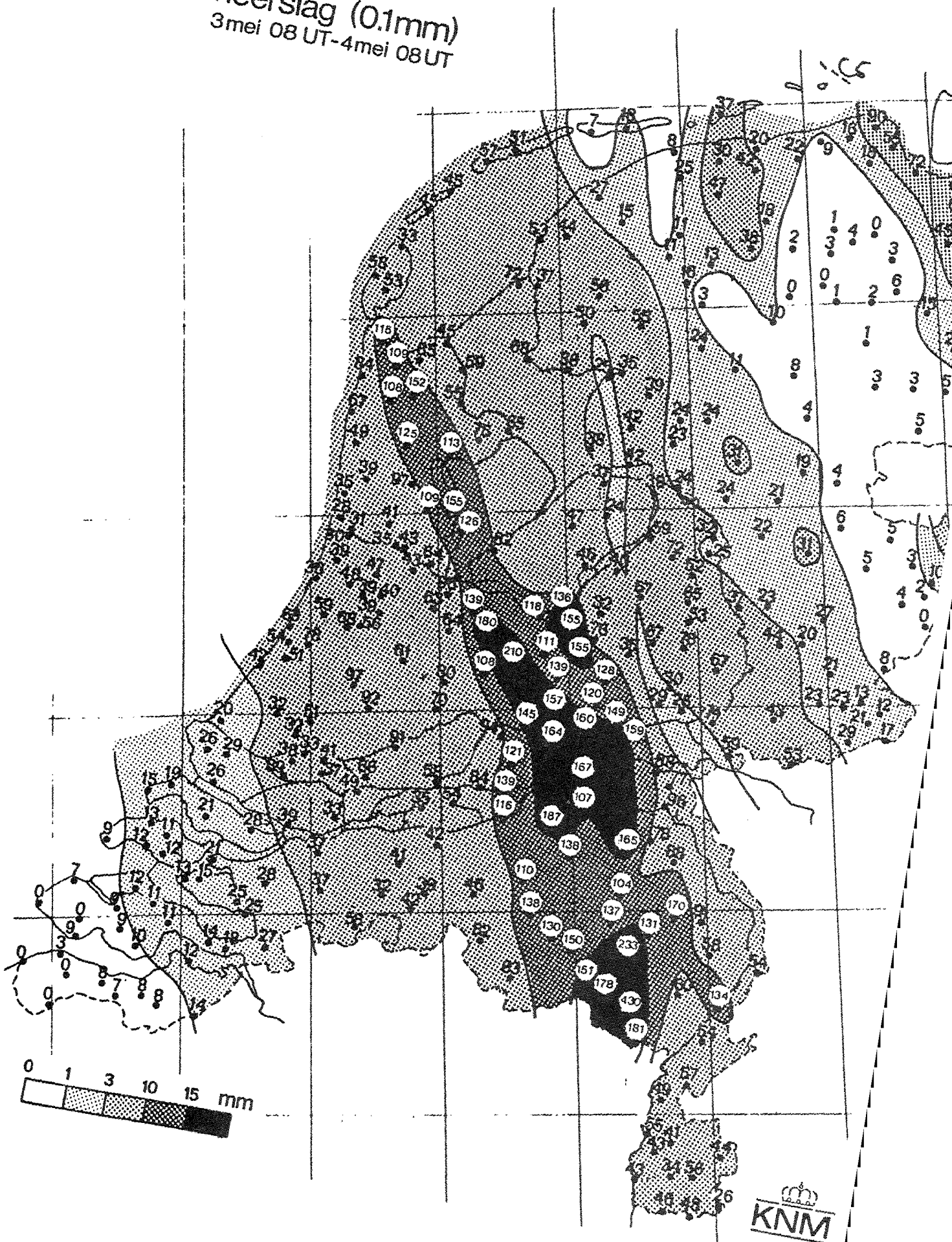
Kenmerkend voor de weersituatie in Nederland in de periode 26 april tot 4 mei 1986 was de aanwezigheid van een zone van hoge luchtdruk over grote delen van Europa en een lagedrukgebied, aanvankelijk in de Balkan en later in het Middellandse Zeegebied. Hierdoor konden de in Tsjernobyl geloosde radioactieve stoffen zich over grote delen van Europa verspreiden.

Tussen de avond van 2 mei en de ochtend van 4 mei trok met een zuidelijke tot zuidzuidoostelijke luchtstroming een groot aantal buien over Nederland. Tussen 2 mei, 17 uur en 3 mei, 4 uur ontstond een eerste serie geïsoleerde buien in een smalle zone, die zich uitstreckte van de omgeving van Eindhoven naar Vlieland/Terschelling. De regenhoeveelheden waren in het algemeen niet groot. In de loop van 3 mei drong via Frankrijk lucht, afkomstig van de Atlantische Oceaan, op in onze richting. Bij het naderen van de oceaanolucht ontstonden in de middag en avond talrijke onweersbuien. Onweersbuien worden in het algemeen o.m. gekenmerkt door van plaats tot plaats zeer uiteenlopende neerslaghoeveelheden en dit was ook op 3 mei het geval. Vooral in een smalle strook van de omgeving van Weert in het zuidoosten tot Den Helder in het noordwesten vielen grote hoeveelheden regen (zie fig. 6.1.1.).

Na 4 mei handhaafde de hoge druk zich nog in Oost-Europa, maar uit het westen werd de besmette lucht verdreven door het windveld van een bij Ierland aangekomen depressie. De gehalten aan radioactieve stoffen in de lucht en de neerslag namen daardoor na 5 mei snel af.

Fig. 6.1.1 Regenval in Nederland op 3 en 4 mei 1986

neerslag (0.1mm)  
3 mei 08 UT-4 mei 08 UT

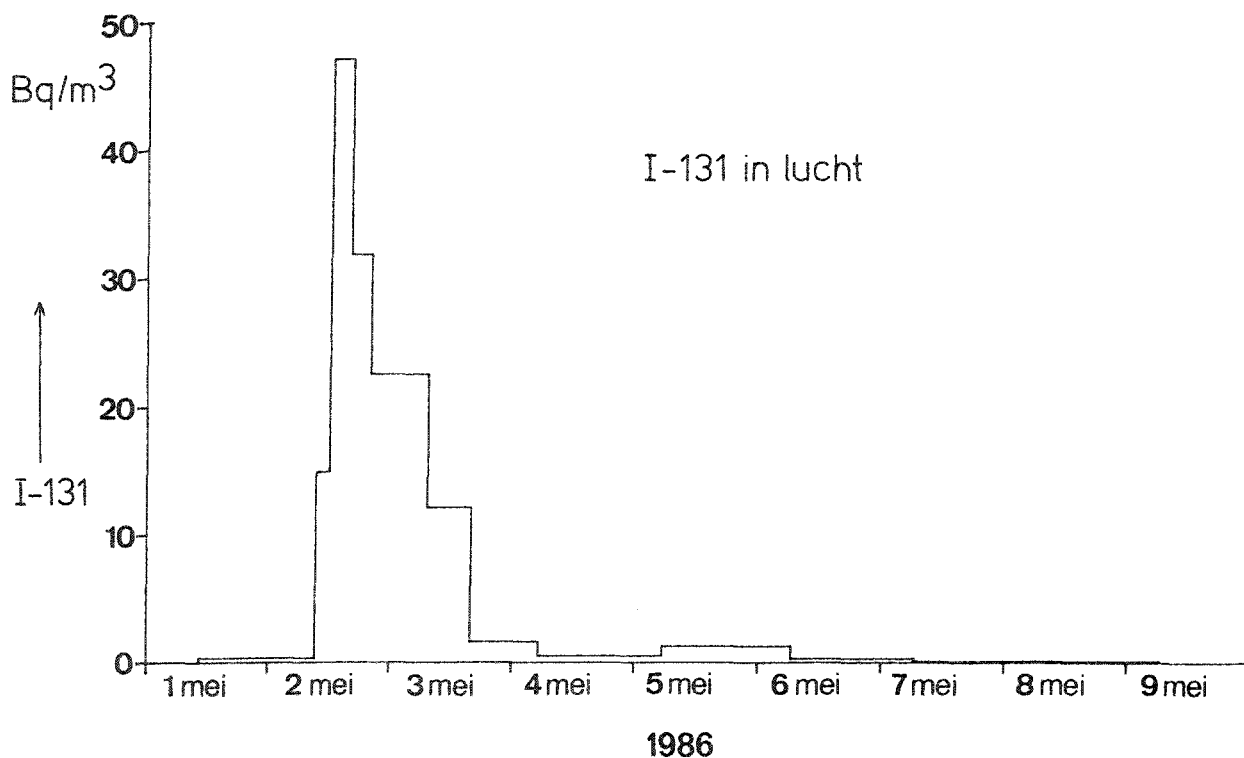


## 6.2. Lucht

Op 2 mei werden op verscheidene plaatsen verhoogde concentraties aan radioactieve stoffen in de lucht gemeten. Fig. 6.2.1. geeft het verloop van het gehalte aan I-131 in de lucht in Petten. Soortgelijke gegevens voor een aantal plaatsen in Nederland, zijn opgenomen in bijlage 4.

De passage van de relatief sterk besmette lucht duurde ongeveer een dag en op de avond van 3 mei was de activiteit van de lucht al aanzienlijk afgenomen. Uit metingen van Geosens vanuit een vliegtuig is echter gebleken dat op vlieghoogten tussen 65 en 750 m nog geruime tijd nadien meetbare concentraties radioactieve stoffen aanwezig zijn geweest: zo is op 7 mei op 65 m hoogte nog 1 à 3 Bq/m<sup>3</sup> aan I-131 aangetroffen (Ge86).

Fig. 6.2.1. Verloop van de concentratie van I-131 in de lucht in Petten.  
Metingen door het ECN (Da86)



De belangrijkste nucliden in de lucht waren I-131, Te-132/I-132, Ru-103, Cs-134 en Cs-137. Daarnaast zijn er nog lagere concentraties Sr-89, Sr-90,

Mo-99/Tc-99m, Ag-110m, I-133, Cs-136, Ba-140/La-140, Ce-141 en Ce-144 gevonden. Uit latere metingen aan de luchtfilters en aan o.a. zuiveringsslib, dat de rutheniumisotopen sterk adsorbeert, is gebleken dat er ook Ru-106 aanwezig is geweest en wel in concentraties die ongeveer 25% van die van Ru-103 bedroegen.

In tabel 6.2.1 zijn gemiddelde waarden opgenomen van de hoogste concentraties die op verschillende plaatsen zijn gemeten. Daar de piekconcentraties slechts kort aanwezig zijn geweest (zie fig. 6.2.1), zijn de geïntegreerde concentraties, d.i. het produkt van concentratie en tijd, van groter belang. Met deze laatste waarden kan men berekenen hoeveel men van elk radionuclide kan hebben ingeademd. Ook de gemiddelde waarden van deze geïntegreerde concentraties zijn in tabel 6.2.1 opgenomen.

De hoogste I-131-concentratie dicht bij de bodem werd gemeten in Petten, nl.  $47 \text{ Bq/m}^3$  tussen 12 en 16 uur op vrijdag 2 mei. Ook het vliegtuig van Geosens vond in de namiddag van 2 mei op 750 m hoogte een dergelijke concentratie tussen Rotterdam en Delfzijl.

Een groot gedeelte van het I-131 in de lucht was aanwezig in de vorm van gasvormige verbindingen, die alleen met koolpatronen kunnen worden bepaald. Daar op dit gebied technische verschillen tussen de metende instanties bestaan, zullen de meetresultaten hierdoor ook verschillen. Voor de berekening van de gemiddelde geïntegreerde concentraties van I-131, vermeld in tabel 6.2.1., zijn alleen de meetresultaten met koolpatronen gebruikt.

De lucht is ook onderzocht op de aanwezigheid van transuranen zoals plutonium. Deze nucliden zenden veelal alfastraling uit. Het KVI en het IF in Groningen (Wij86) en het ECN in Petten (Da86) konden geen significant verhoogde concentraties in lucht vaststellen.

In figuur 6.2.2. is, ter vergelijking met de in mei 1986 waargenomen luchtbesmetting in De Bilt, weergegeven wat de luchtbesmetting sinds 1957 in De Bilt is geweest t.g.v. de bovengrondse proefnemingen met kernwapens. Tevens zijn in fig. 6.2.3 de daggemiddelden van november 1961, de maand met indertijd het hoogste maandgemiddelde, opgenomen en de daggemiddelden van mei 1986. Weergegeven zijn de resultaten van de totale bèta-activiteit in luchtstof.



Tabel 6.2.1. Gemiddelde waarden van door verscheidene Nederlandse laboratoria bepaalde hoogste activiteitsconcentraties in de lucht en van de over de tijd geïntegreerde concentraties.

Radionuclide	Activiteitsconcentratie		Geïntegreerde concentratie	
	gemiddelde piekwaarde Bq/m <sup>3</sup>	standaard- afwijking Bq/m <sup>3</sup>	gemiddelde waarde MBq.s/m <sup>3</sup>	standaard- afwijking MBq.s/m <sup>3</sup>
Mo-99/Tc-99m	1,4	0,7	0,06	0,02
Ru-103	4,0	1,3	0,23	0,08
I-131*	32	15	1,6	0,7
Te-132/I-132	14	5	0,6	0,3
Cs-134	1,9	0,9	0,08	0,04
Cs-136	0,64	0,13	0,03	0,01
Cs-137	3,7	1,3	0,18	0,07
Ba-140/La-140	1,7	0,7	0,08	0,02

\* Metingen met koolpatronen.

Het blijkt dat de concentratie aan bèta-activiteit in de lucht in mei 1986 gemiddeld <sup>3</sup> 20% hoger is geweest dan in november 1961, nl. 0,39 Bq/m<sup>3</sup> tegen 0,32 Bq/m<sup>3</sup>. Berekent men de bèta-activiteit over geheel 1986, aannemende dat zich geen nieuwe grootschalige besmetting zal voordoen, dan blijkt het jaargemiddelde een derde te zijn van dat in 1962 en 1963. Het jaargemiddelde voor 1986 wordt echter geheel bepaald door de radioactiviteit in de lucht gedurende de eerste week van mei toen de radioactief besmette lucht uit Tsjernobyl over ons land trok en de lucht na enkele dagen weer "schoon" was. In de tijd van de radioactieve neerslag

t.g.v. de kernwapenproeven ("fallout"), vertoonde de lucht gedurende het gehele jaar verhoogde radioactiviteitsconcentraties. Bij de kernwapenexplosies werden de daarbij ontstane radioactieve stoffen hoog in de stratosfeer gebracht en van daaruit werd de atmosfeer in onze streken jarenlang radioactief besmet. Dit had tot gevolg dat er gedurende het gehele jaar verhoogde hoeveelheden radionucliden op het aardoppervlak neersloegen. De besmetting van gras, land- en tuinbouwprodukten via directe bladopname verloopt veel efficiënter dan via wortelopname, zodat in een jaar met gelijkmatige luchtactiviteiten een veel grotere besmetting van deze produkten zal ontstaan.

Fig. 6.2.2. Verloop van de totale bèta-activiteit in luchtstof in De Bilt (jaargemiddelden). Metingen van KNMI en RIVM.

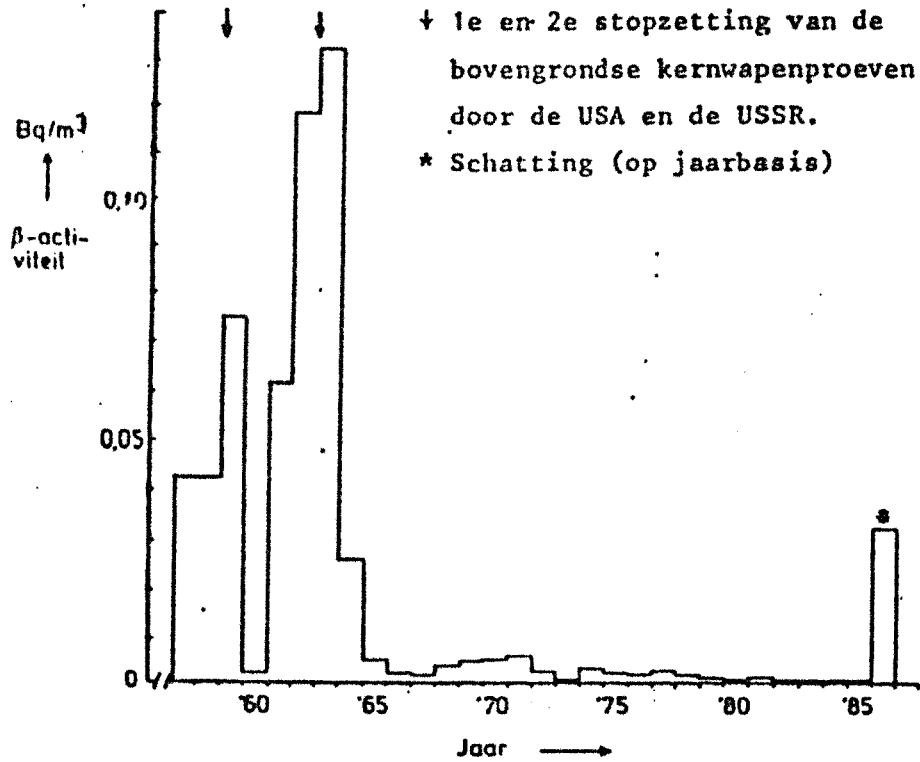
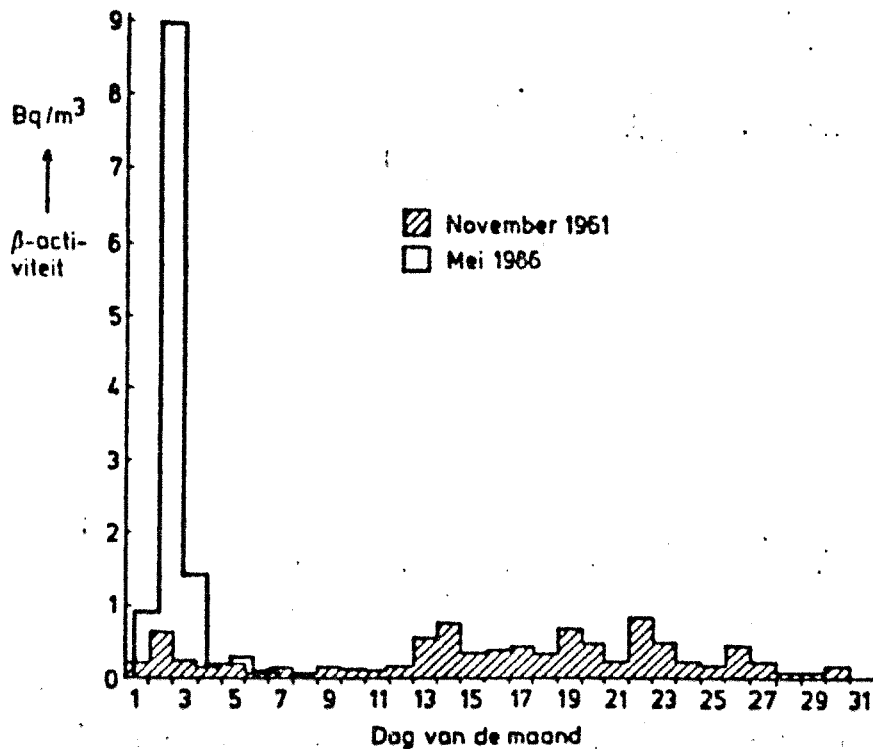


Fig. 6.2.3. Kunstmatige beta-activiteit van luchtstof in november 1961 en mei 1986 in de Bilt. Maandgemiddelden: november 1961 0,32 Bq/m<sup>3</sup>, mei 1986 0,39 Bq/m<sup>3</sup>. Metingen door het KNMI en het RIVM.



### 6.3. DEPOSITIE

Op vele plaatsen in Nederland is in de eerste weken van mei regen opgevangen voor onderzoek op radioactieve stoffen. Daar lang niet altijd voldoende gegevens over opvangtijdvak en opgevangen hoeveelheid regen beschikbaar zijn, is het niet gemakkelijk een volledig beeld van de depositie in het gehele land te verkrijgen.

In tabel 6.3.1 wordt een voorlopige schatting gegeven van de gemiddelde natte depositie in Nederland ten gevolge van Tsjernobyl. Deze schatting berust op metingen in negen verschillende plaatsen die gelijkmatig over het land zijn verdeeld.

Behalve deze depositie met de regen, de zogenaamde "natte depositie", is er ook nog de "droge depositie", waarmee men bedoelt het neerdalen van stofdeeltjes of aerosoldeeltjes op of de adsorptie van radioactieve gassen aan het aardoppervlak, zonder dat er regen valt. Met een conventionele regenmeter, een opvangtrechter met een verzamelbak, wordt slechts een gedeelte van de droge depositie opgevangen, doordat het gladde oppervlak van de opvangtrechter bij horizontaal transport de vaste deeltjes uit de lucht slecht vasthoudt in vergelijking met vegetatie en ruwe bodemoppervlakken, terwijl dit trechteroppervlak ook andere adsorptie-eigenschappen bezit voor gassen.

Het ECN (Da86) en het RIVM hebben de droge depositie in Petten respectievelijk Bilthoven bepaald. Hierbij is aangenomen dat de verhoging in het exposietempo (zie figuur 6.5.1.) evenredig is met de hoeveelheid droge of natte depositie.

Omdat de droge-depositiesnelheden in beide plaatsen ongeveer gelijk zijn en omdat de over de tijd geïntegreerde luchtactiviteiten in Nederland geen grote spreiding vertonen (zie tabel 6.2.1.) zal bij benadering gelden dat de droge deposities overal gelijk zijn geweest. Dit betekent dat het gemiddelde van de droge deposities in Bilthoven en Petten een redelijke schatting is voor de landelijk gemiddelde droge depositie. Tabel 6.3.1. geeft per radionuclide de schatting voor de droge depositie. In deze tabel is tevens de schatting voor de landelijke gemiddelde totale depositie, de som van natte en droge depositie, opgenomen. Hieruit blijkt dat de landelijke depositie begin mei voor het grootste gedeelte bestond uit de kortlevende nucliden I-131 en Te-132/I-132. Ter vergelijking is in tabel 6.3.1. voor de radionucliden die ten gevolge van Tsjernobyl zijn

gedeponeerd ook de depositie ten gevolge van de kernwapenproefnemingen in de periode 1954-1982 vermeld.

Tabel 6.3.1 Landelijk gemiddelde droge, natte en totale depositie ten gevolge van het reactorongeval in Tsjernobyl (waarden berekend per 3 mei 1986) en deposities van dezelfde radionucliden t.g.v. kernwapenproefnemingen tussen 1954 en 1982. (N.B. Er zijn in die periode ook nog andere radionucliden op het aardoppervlak terechtgekomen).

Radionuclide	Geschatte droge depositie Bq/m <sup>2</sup>	Gemiddelde gemeten natte depositie Bq/m <sup>2</sup>	Totale natte en droge depositie Bq/m <sup>2</sup>	Geschatte totale depositie in Nederland (1954-1982) t.g.v. kernwapenproeven (UN82) Bq/m <sup>2</sup>
Sr-89(a)	50	130	180	21000
Sr-90(a)	5	13	18	2900
Mo-99/Tc-99m	200	500	700	(c)
Ru-103	1000	2400	3400	30000
Ru-106(b)	250	600	850	24000
I-131	4100	7300	11400	20000
Te-132/I-132	2900	6700	9600	(c)
Cs-134	220	700	920	(c)
Cs-136	140	200	340	(c)
Cs-137	500	1300	1800	4600
Ba-140/La-140	160	400	560	25000
Pu-239			0,001	35

Toelichting

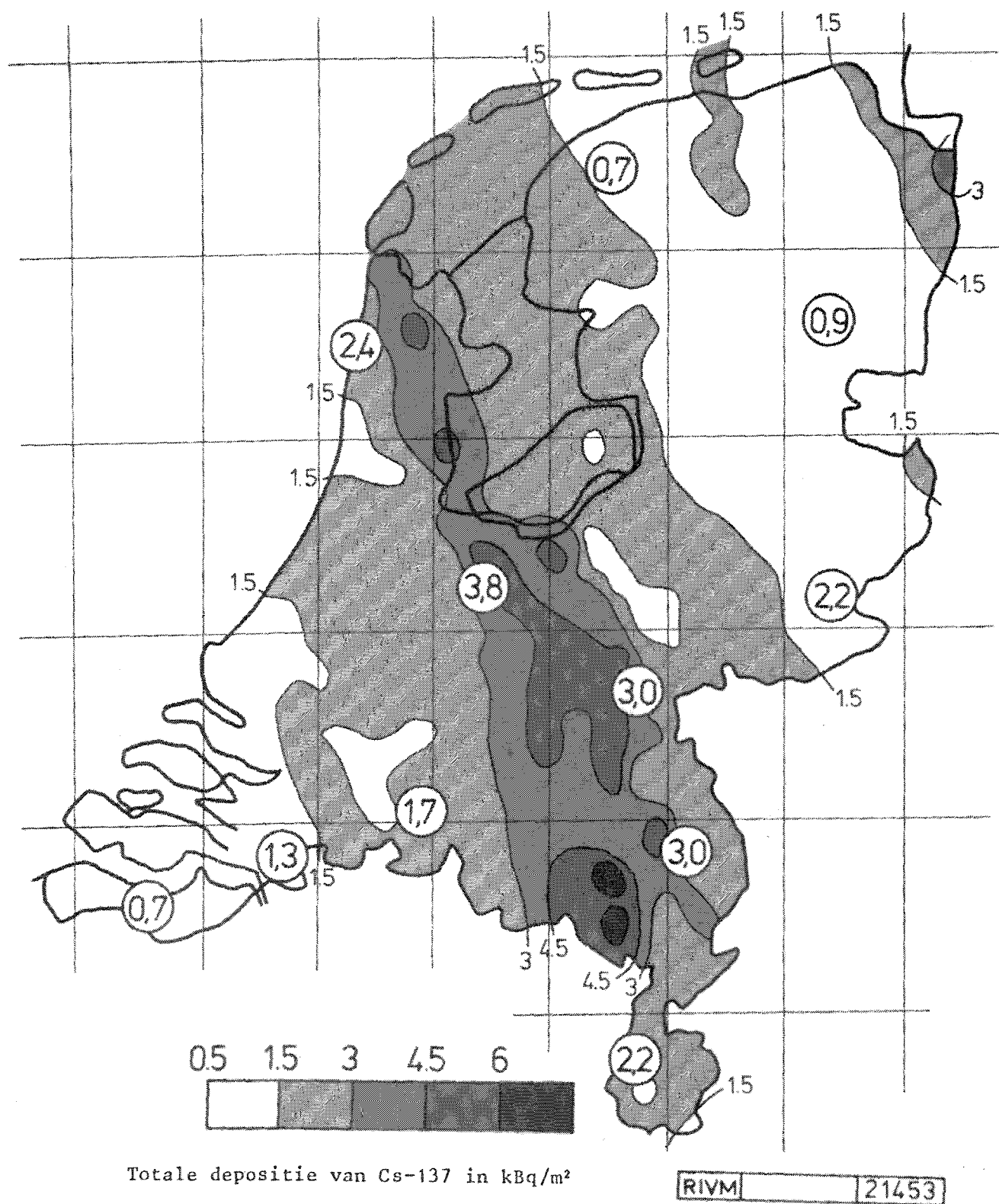
- (a) Gebaseerd op de gemeten verhouding t.o.v. Cs-137 in regenwater en luchtstof.
- (b) Berekend m.b.v. gemeten Ru-103/Ru-106-verhoudingen in zuiveringsslib.
- (c) Deze radionucliden waren niet of nauwelijks aanwezig.

De in de tabel gegeven lijst van de ten gevolge van "Tsjernobyl" gedeponeerde radionucliden is niet volledig. Er heeft ook nog depositie plaatsgevonden van een aantal niet genoemde nucliden (zie hoofdstuk 6.2 voor een opsomming van de aangetoonde radionucliden). Deze deposities zijn echter minder belangrijk en zijn voor iedere nuclide kleiner dan 200 Bq/m<sup>2</sup>. De grootste hoeveelheden radionucliden zijn gevallen tijdens hevige regenbuien die op de avond van 3 mei begonnen en enkele dagen hebben aangehouden. De hoeveelheid regen vertoont grote plaatselijke verschillen en daar de hoeveelheid radionucliden die bij regen uit de lucht wordt gewassen en op aarde neerkomt, ongeveer evenredig is met de hoeveelheid regen, zijn er ook grote plaatselijke verschillen in de natte depositie ontstaan. Dit beeld is terug te vinden in figuur 6.3.1. waarin een depositiekaart met isodepositielijnen wordt gegeven voor Cs-137. De bijdrage door natte depositie is berekend m.b.v. de door het KNMI gerapporteerde regenhoeveelheden voor het tijdvak 3-4 mei 1986 (zie figuur 6.1.1.) en de gemiddelde concentratie van Cs-137 in regenwater in dit tijdvak. De bijdrage door droge depositie is overal gelijk gesteld aan de waarde van 500 Bq/m<sup>2</sup> uit tabel 6.3.1. Uit de kaart blijkt dat de verschillen in depositie van Cs-137 groot zijn; hetzelfde zal gelden voor de overige radionucliden. Hierbij moet wel vermeld worden dat de kaart een voorlopig karakter heeft; een definitieve depositiekaart kan pas worden gegeven nadat een uitgebreid meetprogramma is uitgevoerd. Nauwkeurige metingen door het ECN van het stralingsniveau in juni/juli leverden evenwel resultaten op die goed overeenkomen met de in figuur 6.3.1. weergegeven situatie (zie ook 6.5.).

Van de radionucliden in de depositie zijn op wat langere termijn alleen de "langlevende" van belang, d.w.z. Cs-134 en Cs-137 met respectievelijk halveringstijden van 2 en 30 jaar. De geschatte totale depositie van Cs-137 ten gevolge van Tsjernobyl bedraagt circa 40% van de totale hoeveelheid Cs-137 die gedeponeerd is ten gevolge van de kernwapenproeven. De depositie van Cs-134 kan hieraan niet worden gerelateerd omdat bij de kernwapenproeven geen Cs-134 is vrijgekomen.

Bij de radioactieve neerslag na de kernwapenproeven in de jaren vijftig en zestig waren in de neerslag steeds aanzienlijke hoeveelheden Sr-89 en Sr-90 aanwezig, nucliden met halveringstijden van resp. 51 dagen en 28 jaar. De hoeveelheid Sr-90 in de depositie was toen ongeveer 60% van die van Cs-137.

Fig. 6.3.1. Kaart van Nederland met isodepositielijnen voor de geschatte lokale natte plus droge depositie van Cs-137. Berekend door het RIVM m.b.v. een regenkaart van het KNMI. Omcirkelde waarden: gemeten natte depositie plus geschatte droge depositie van Cs-137 in  $\text{kBq/m}^2$ .



Daar beide Sr-isotopen zuivere bètastralers zijn, waarvan de analyse aanzienlijk meer tijd kost dan die van nucliden die ook gammastraling uitzenden (de meeste andere nucliden), zijn de meetresultaten van de Sr-bepalingen pas laat en in relatief kleine aantallen beschikbaar gekomen.

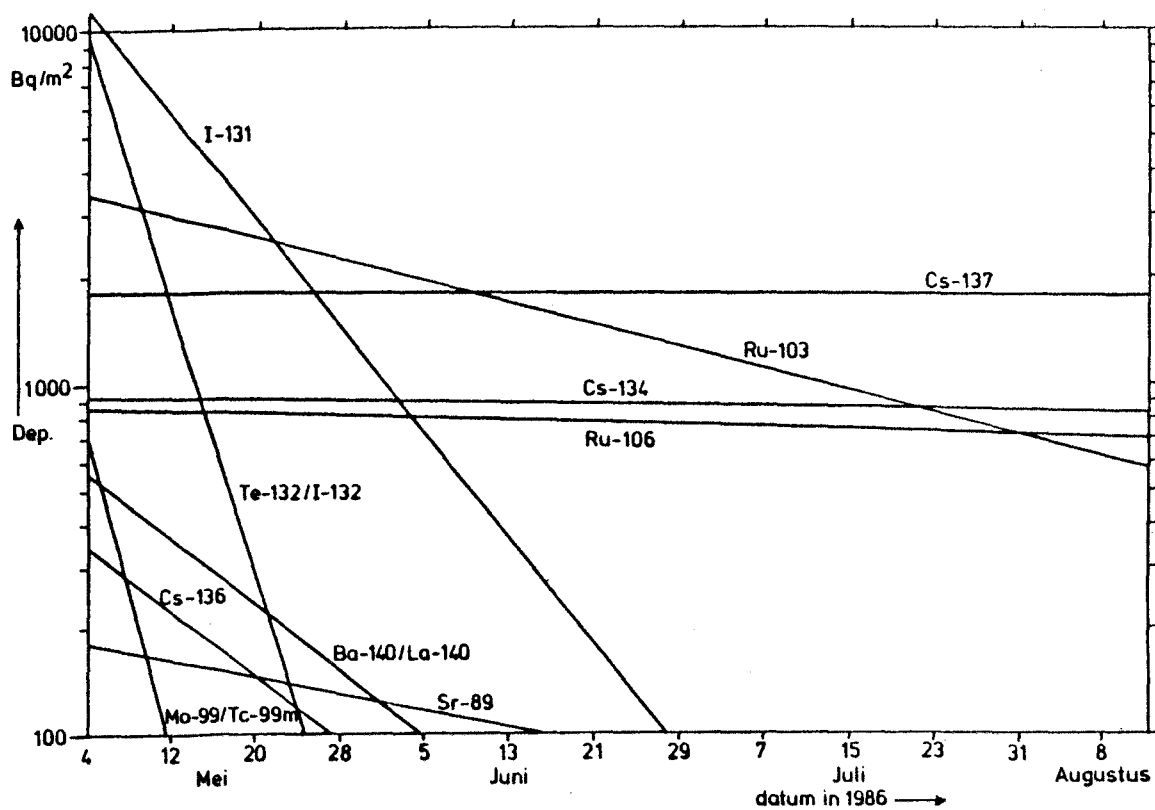
In regenwater dat tussen 2 en 6 mei in Bilthoven, Petten en Wageningen is opgevangen, zijn concentraties aan Sr-89 en Sr-90 gevonden, die ten hoogste ca. 10 en 1% bedroegen van de concentratie aan Cs-137. In Mol in België zijn dezelfde verhoudingen gevonden in luchtactiviteit (Kp86). In gras uit Valburg en Hoogland waren deze percentages resp. 6 en 0,6. De deposities aan Sr-89 en Sr-90 zijn dus relatief laag en zullen gemiddeld over het hele land maximaal ongeveer 180, resp. 18 Bq/m<sup>2</sup> hebben bedragen. De deposities na de kernwapenproeven waren aanzienlijk hoger: aan Sr-89 is er toen in de gematigde zone van het noordelijke halfrond ca. 21.000 Bq/m<sup>2</sup> en aan Sr-90 2900 Bq/m<sup>2</sup> gevallen (UN82).

Het is twijfelachtig of er in Nederland het langlevende Pu-239 is gedeponerd. De concentraties in regenwater waren in het algemeen niet meetbaar. In één monster regenwater uit Wageningen werd een Pu-239-concentratie gemeten die een factor 10<sup>6</sup> lager was dan de Cs-137-concentratie, hetgeen een depositie aan Pu-239 zou betekenen in de grootte-orde van 0,001 Bq/m<sup>2</sup>. Dit is verwaarloosbaar ten opzichte van de reeds aanwezige belasting aan Pu-239 (35 Bq/m<sup>2</sup>) ten gevolge van de kernwapenproeven.

Fig. 6.3.2 geeft voor het tijdvak 4 mei - 12 augustus 1986 een beeld van de afname door radioactief verval van de in mei op het aardoppervlak terechtgekomen hoeveelheden radionucliden. Hierbij is eenvoudigheidshalve aangenomen dat de totale depositie al op 4 mei 1986 was voltooid. Het is duidelijk dat na half juli alleen de twee Cs- en de twee Ru-isotopen in belangrijke hoeveelheden zijn overgebleven van de in mei gevallen radionucliden.



Fig. 6.3.2 Afname door radioactief verval van de landelijk gemiddelde hoeveelheden radionucliden Dep. (in  $\text{Bq/m}^2$ ), die begin mei 1986 als natte en droge depositie op de bodem in Nederland zijn terechtgekomen.



#### 6.4. Bodem

Radioactieve stoffen die na een kernreactorongeval op de bodem worden afgezet, worden veelal sterk aan gronddeeltjes gebonden. Bij bijna alle na "Tsjernobyl" onderzochte gronden is geconstateerd dat 80 à 90% van de in mei 1986 op de grond terechtgekomen nucliden zich in de bovenste grondlaag van 5 cm bevonden. Het transport naar diepere lagen verloopt voor de meeste radionucliden erg langzaam. Zo neemt men aan dat cesium, waarvan de isotopen Cs-134 en Cs-137 voor de besmetting van gewassen verreweg de belangrijkste bestanddelen van de depositie zijn, zich per jaar slechts enkele millimeters naar beneden verplaatst (Fr81). Deze snelheid is afhankelijk van de grondsoort en het regenoverschot (d.i. regen minus verdamping).

Transport door wormen en andere dieren in de grond speelt mede een rol. Omploegen van de grond geeft een menging van de depositie over de bouwvoor, waardoor de uitwendige straling t.g.v. de depositie sterk vermindert. Ook de opname van radionucliden via de wortels van oppervlakkig wortelende gewassen wordt door ploegen kleiner. De besmetting van melk met radioactief cesium zal daardoor op nieuw ingezaaide weilanden lager zijn dan op permanente weiden.

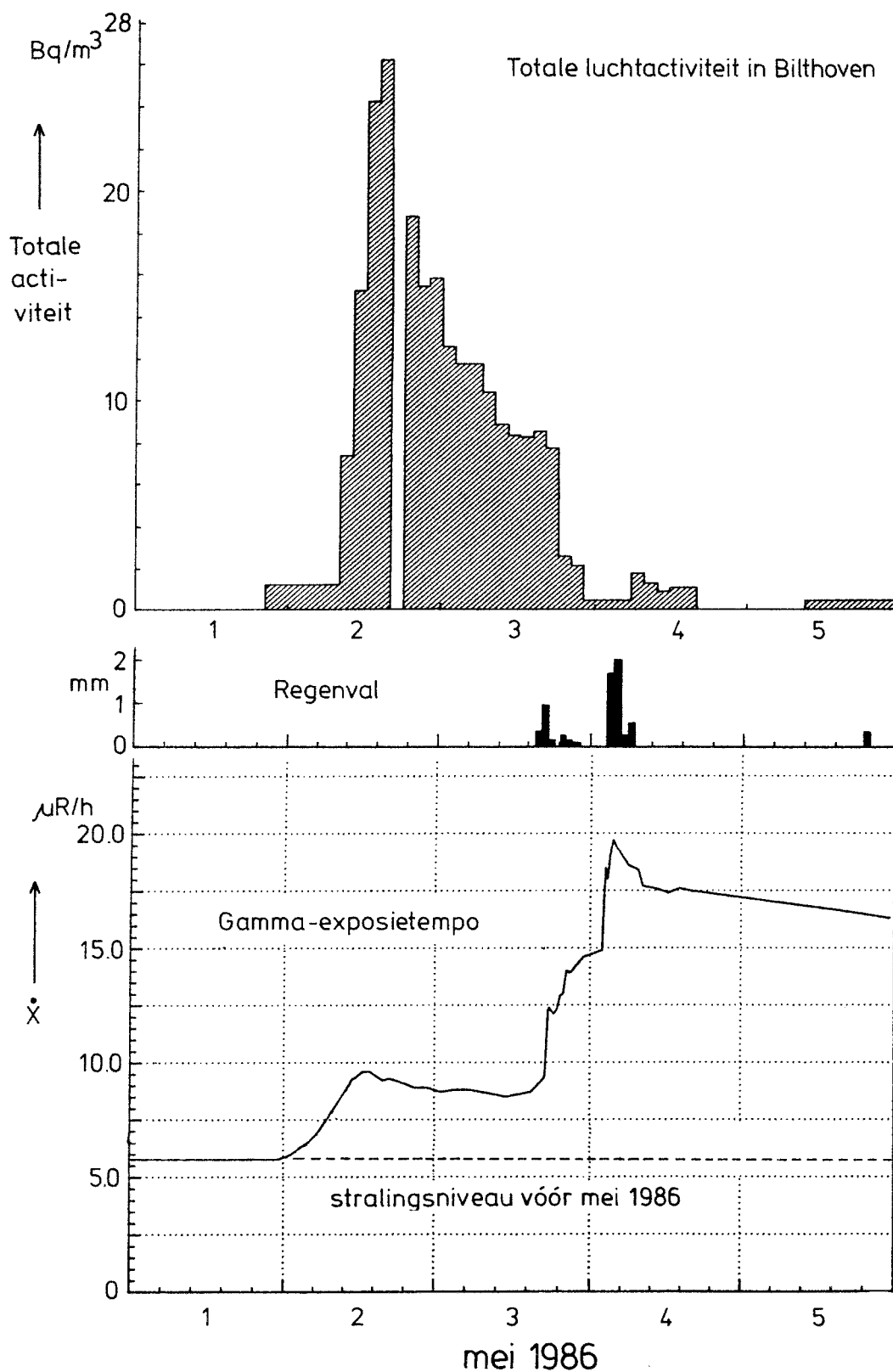
### 6.5. Stralingsniveau (Exposietempo)

Het exposietempo, in dit rapport "stralingsniveau" genoemd, is een maat voor de hoeveelheid ionen die per tijdseenheid in een massa-eenheid lucht wordt gevormd onder invloed van de gammastraling die door die hoeveelheid lucht wordt geabsorbeerd. Als eenheid wordt hier microröntgen per uur ( $\mu\text{R/h}$ ) gebruikt. Een verblijf in een omgeving met een bepaald stralingsniveau geeft aanleiding tot absorptie van een zekere hoeveelheid stralingsenergie die aan het organisme schade kan toebrengen (zie 9.1). In een omgeving met een stralingsniveau van  $1 \mu\text{R/h}$  ontvangt men een effectieve stralingsdosis van ongeveer  $0,01 \mu\text{Sv}$  per uur.

Bij het overtrekken van de radioactieve pluim op 2 mei steeg overal het stralingsniveau met ca.  $2 \mu\text{R/h}$ , bij een normaal peil van  $6$  à  $7 \mu\text{R/h}$  voor de plaatsen waar dit stralingsniveau begin mei is gemeten. (Uit metingen in het kader van het SAWORA-project is gebleken dat landelijk het stralingsniveau kan variëren tussen  $4,6$  en  $10,6 \mu\text{R/h}$  (Do84; Ju85). Dit normale peil wordt veroorzaakt door de kosmische straling en de natuurlijke radionucliden in de lucht en in de bodem. De verhoging werd vooral veroorzaakt door op de grond gedeponeerde radioactieve stoffen en in mindere mate door de radionucliden in de lucht. Vooral het kortlevende nuclidenaar Te-132/I-132 leverde een grote bijdrage tot het stralingsniveau.

In de nacht van 3 op 4 mei viel er in grote delen van het land met de regen veel natte depositie, waardoor in de avond van 3 mei het stralingsniveau snel opliep. In fig. 6.5.1 wordt dit geïllustreerd voor de situatie in Bilthoven. De regen deed zoveel radionucliden neerslaan dat het stralingsniveau in de vooravond snel toenam tot ca.  $12,5 \mu\text{R/h}$  en later tot  $14 \mu\text{R/h}$ . De regen waste de lucht dicht bij het aardoppervlak schoon, zodat de luchtactiviteit aanzienlijk daalde. De lucht op grotere hoogte bevatte echter ook daarna nog radionucliden afkomstig van Tsjernobyl en bij de flinke regenbuien in de eerste uren van 4 mei vielen er nog zulke hoeveelheden radionucliden dat het stralingsniveau opliep tot ca.  $20 \mu\text{R/h}$ . De depositie van radionucliden in Bilthoven zou aanzienlijk groter zijn geweest, indien het daar in de voormiddag van 2 mei zou hebben geregend.

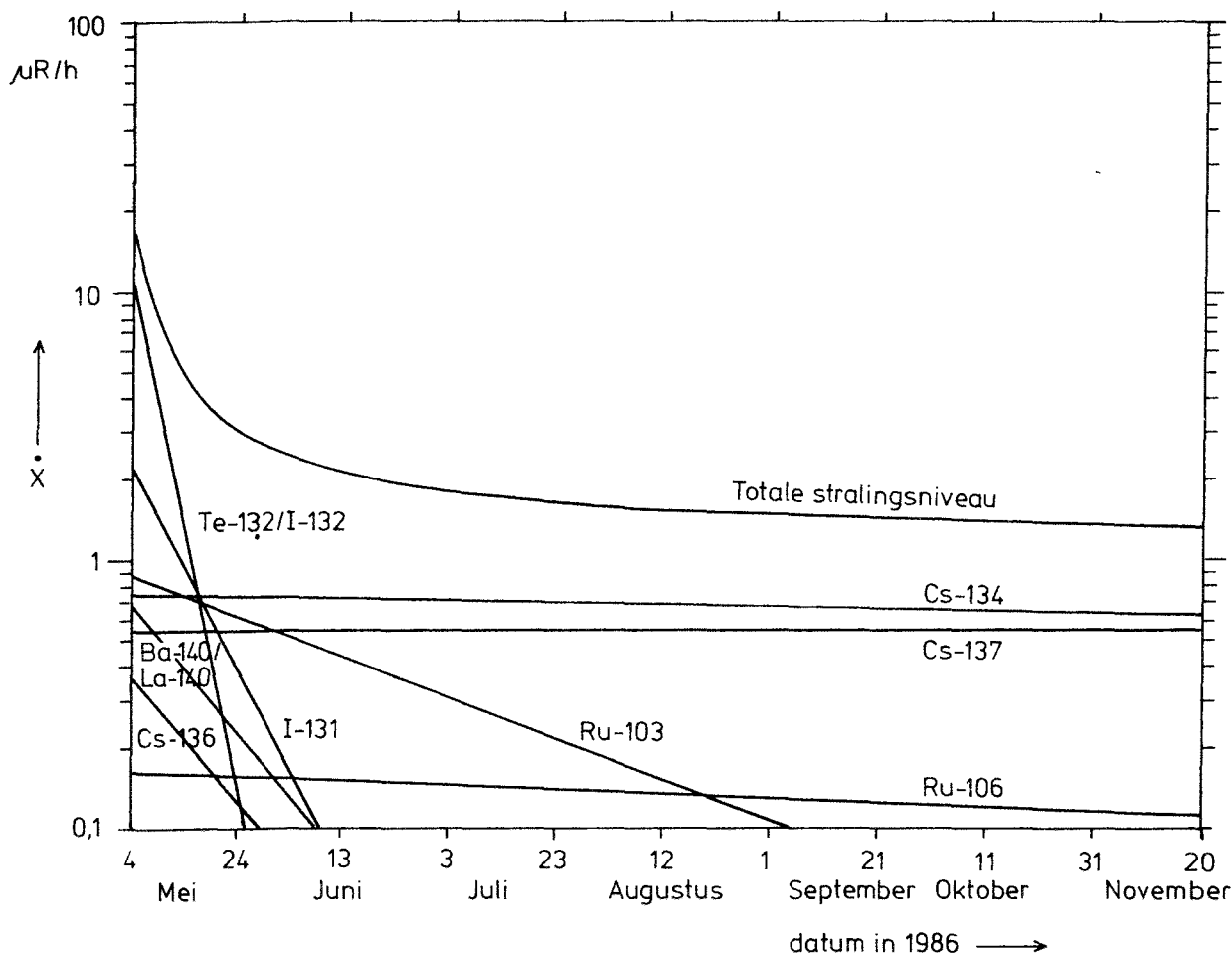
Fig.6.5.1 Verloop van de totale activiteit in de lucht en het stralingsniveau  $\dot{X}$  (exposietempo) in Bilthoven (RIVM) en regenval in De Bilt (KNMI) van 1 t/m 5 mei 1986. (Door storingen in de apparatuur ontbreken enkele gegevens bij de luchtactiviteitsmetingen).



Ook op andere plaatsen in het land werd als hoogste waarde 15 à 20  $\mu\text{R/h}$  waargenomen in de vroege morgen van 4 mei. De regens van 5 mei zorgden hier en daar nog voor aanzienlijke deposities en daardoor voor een verdere stijging van het stralingsniveau. Zo nam in Petten, na enkele regenbuien op 5 mei, het stralingsniveau toe van 10 tot 15  $\mu\text{R/h}$ .

Op de meeste plaatsen werd echter na 5 mei nog slechts weinig aan de depositie toegevoegd. Door het fysisch verval van de radionucliden begon daarna het stralingsniveau te dalen, hetgeen wordt geïllustreerd in fig. 6.5.2., waarin de berekende verhoging van het landelijk gemiddelde stralingsniveau boven de normale waarde op enkel-logaritmisch grafiekenpapier is uitgezet tegen de tijd. Hierbij is ter vereenvoudiging aangenomen dat de totale depositie op 4 mei was voltooid.

Fig. 6.5.2. Afname van het stralingsniveau  $\dot{X}$  (in  $\mu\text{R/h}$ ), uitsluitend ten gevolge van radioactief verval.



In deze figuur zijn ook de bijdragen af te lezen van de afzonderlijke radionucliden.

In de eerste dagen na de depositie van de radionucliden levert I-132, de kortlevende dochter van Te-132, de grootste bijdrage aan het stralingsniveau (zie fig. 6.5.2.). Deze bijdrage neemt af met de halveringstijd van Te-132, 3,2 dagen, zodat na half mei de bijdragen van de Cs-isotopen en Ru-103 de resterende verhoging van het stralingsniveau gaan bepalen. Het Ru-103 heeft een halveringstijd van 39,4 d en na ongeveer begin augustus zijn alleen de Cs-isotopen in dit opzicht nog van belang. Door de lange halveringstijden, 2,1 jaar voor Cs-134 en 30,2 jaar voor Cs-137, zal het stralingsniveau daarna slechts langzaam dalen.

Door het ECN zijn in juni en juli 1986 in vijf provincies nauwkeurige metingen verricht van de verhoging van het stralingsniveau op een aantal plaatsen, waar in 1982 door het RIVM en het ECN ook dergelijke waarnemingen zijn verricht in het kader van het SAWORA-project (Do84). (Het SAWORA-project is het onderzoeksproject: "Stralingsaspecten van woonhygiëne en aanverwante radio-ecologische aspecten", gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken).

Plaatselijk zijn er grote verschillen: tussen de hoogste gemiddelde waarde voor een provincie (3,6  $\mu\text{R/h}$  in Utrecht) en de laagste (0,4  $\mu\text{R/h}$  in Zeeland) ligt een factor negen verschil, een beeld dat overeenkomt met het depositiepatroon in Nederland. Gezien de verdeling van de depositie over Nederland (zie fig. 6.3.1.) zal het gemiddelde stralingsniveau in Nederland in juni en juli ongeveer 2  $\mu\text{R/h}$  hoger zijn geweest dan de waarde van voor mei 1986.

## 6.6 Oppervlaktewater

Het ongeval te Tsjernobyl heeft met ingang 1 mei 1986 geleid tot een extra meetprogramma voor het Nederlandse oppervlaktewater in aanvulling op het bestaande Nationaal Meetprogramma van de CCRX en het DBW/RIZA meetnet. Dit extra meetprogramma werd uitgevoerd door de DBW/RIZA in samenwerking met het RIVM.

In figuur 6.6.1 en 6.6.2 zijn de resultaten van een aantal Nederlandse oppervlaktewateren weergegeven. Hierbij is het gehalte uitgedrukt in rest- $\beta$ -activiteit; dit is de totaal- $\beta$ -activiteit verminderd met de  $\beta$ -activiteit van het van nature aanwezige kalium-40.

De mate van verontreiniging en het verloop ervan in oppervlaktewater wordt behalve door het radioactieve verval van de nucliden ook in belangrijke mate bepaald door de aard van het oppervlaktewater, diep, ondiep, stilstaand, stromend, en door de hydrologische factoren die hierbij een rol spelen. Zo werden begin mei in wateren met een grotere diepte, zoals in de grote rivieren en meren, als gevolg van een grotere verdunning van de depositie lagere maxima gemeten dan in ondiepe wateren. Verschillende radionucliden, zoals de radio-isotopen van ruthenium en cesium, hechten zich aan zwevend materiaal. Door bezinking zal vervolgens een deel van de radioactiviteit op de onderwaterbodem terechtkomen.

Na omstreeks 7 en 8 mei 1986 vertoont de radioactieve besmetting van het Nederlandse oppervlaktewater in het algemeen een dalende tendens.

De afname in de gehalten is in het algemeen sneller verlopen dan door alleen radioactief verval was te verwachten. Dit gunstiger verloop kan worden toegeschreven aan in het oppervlaktewater optredende processen, voornamelijk verdunning en sedimentatie. De verwachting is dat deze vermindering zich zal voortzetten, evenwel in een steeds trager tempo doordat er relatief meer langer levende radionucliden overblijven en doordat de onderwaterbodem als een buffer gaat fungeren.

Het hoogste rest- $\beta$ gehalte in de Rijn te Lobith (13600 Bq/m<sup>3</sup>; gemiddelde waarde in 1985: 80 Bq/m<sup>3</sup>) werd gemeten op 7 mei, d.w.z. enkele dagen na de hoogste depositie op 3 en 4 mei (zie fig. 6.6.1). Ook daarna bleef het rest- $\beta$ gehalte nog enige dagen hoog.

Fig.6.6.1. Rest  $\beta$ -activiteit in de Rijn en de Maas bij de grenzen en in het IJsselmeer bij Andijk. Metingen door DBW/RIZA; resultaten in kBq/m<sup>3</sup>.

### Rest $\beta$ -activiteit in oppervlaktewateren

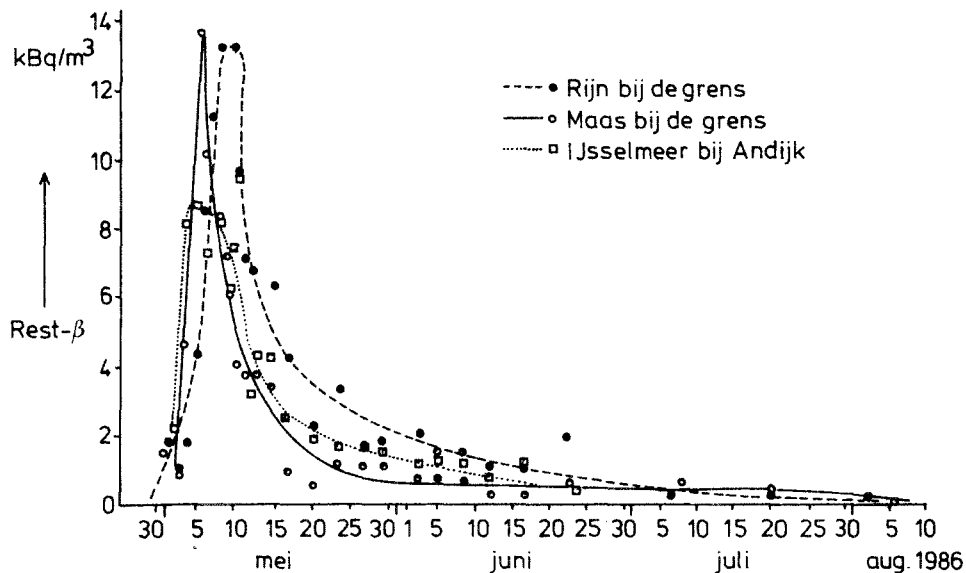
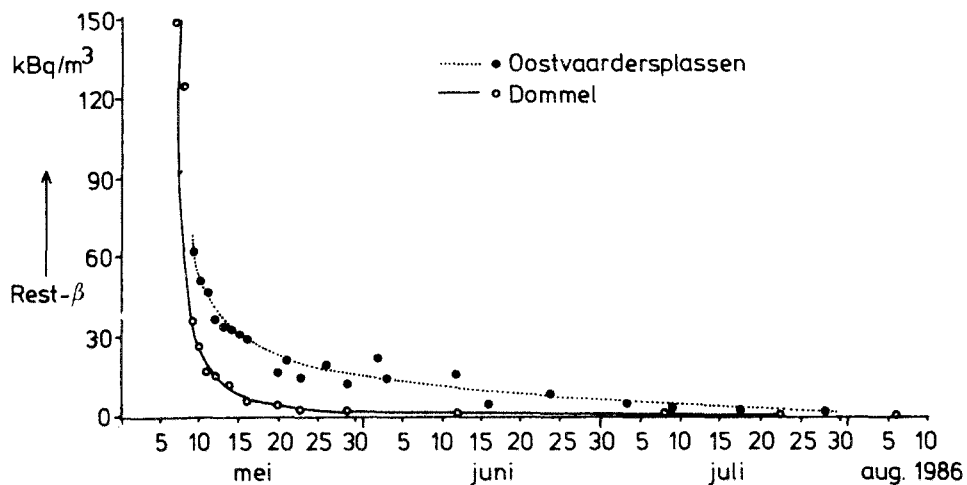


Fig. 6.6.2. Rest  $\beta$ -activiteit in de oostvaardersplassen en de Dommel. Metingen door DBW/RIZA; resultaten in kBq/m<sup>3</sup>.





Dit radioactiviteitsverloop is toe te schrijven aan een relatief hogere depositie in (delen van) het Duitse en Zwitserse stroomgebied van de Rijn. Het ten gevolge hiervan belaste Rijnwater bereikte pas na enkele dagen Nederland.

Begin augustus was het rest-bètagetal gehalte gedaald tot  $250 \text{ Bq/m}^3$ . Het hoogste rest-bètagetal gehalte in de Maas te Eijsden ( $16500 \text{ Bq/m}^3$ ; gemiddelde waarde in 1985:  $70 \text{ Bq/m}^3$ ) werd gemeten op 5 mei, enkele dagen eerder dan in de Rijn. Als gevolg van een snelle afstroming was op 6 mei het gehalte reeds sterk afgenomen (zie fig. 6.6.1.). Begin augustus was het rest-bètagetal gehalte gedaald tot een niveau van  $150 \text{ Bq/m}^3$ .

Zowel in Lobith als in Eijsden is met behulp van een doorloopcentrifuge zwevend stof verzameld. Het verloop van de activiteit in zwevend stof in de tijd komt overeen met het verloop van de activiteit in het water. Ook hier is de afname in het gehalte in het algemeen sneller verlopen dan alleen door radioactief verval is te verklaren. Dit gunstiger verloop kan worden toegeschreven aan de zich in de rivier voordoende processen, voornamelijk verdunning en verspreiding.

Het IJsselmeer is belast met radioactieve stoffen door directe depositie en door aanvoer van Rijnwater via de IJssel.

De directe depositie leidde tot een stijging van het rest-bètagetal gehalte voor het meetpunt Andijk tot een niveau van ca.  $8000$  à  $9000 \text{ Bq/m}^3$  (normaal gemiddeld ca.  $80 \text{ Bq/m}^3$ ). Als gevolg van de wisselende zwevend-stofgehalten in de watermonsters (monsterneming vanaf de oever) fluctueren de rest-bètagetal gehalten voor Andijk relatief sterk. Eind juni was dit gedaald tot ruim beneden  $1000 \text{ Bq/m}^3$ .

De Oostvaardersplassen in Flevoland vormen een uitgestrekt plassengebied met geringe diepte en met nauwelijks enige doorspoeling. Door de geringe diepte is de verdunning van de gedeponeerde radioactiviteit gering (zie fig. 6.6.2.). Dit wordt geïllustreerd door de in de Oostvaardersplassen gemeten gehalten te vergelijken met die gemeten in het IJsselmeer, een groot water met relatief grote verdunningscapaciteit. Het IJsselmeer is ca. tien maal zo diep als de Oostvaardersplassen en vertoont rest-bètagetal gehalten die ongeveer een factor tien lager zijn.

Begin mei kwamen in het zuidoosten van Noord-Brabant intensieve onweersbuien voor (zie fig. 6.1.1.). Dit heeft ertoe geleid dat onder andere de Dommel in deze periode extra belast werd door radioactiviteit, mede door afspoeling van verharde oppervlakten. In figuur 6.6.2 is het

verloop van het rest-bètagehalte in de Dommel grafisch weergegeven. De begin mei gemeten radioactiviteitsniveaus in de Dommel behoren tot de hoogste die in Nederlandse oppervlaktewateren zijn gemeten. Overigens is ook de afname spectaculair te noemen. Andere processen dan radioactief verval, zoals verdunning en verspreiding, zijn verantwoordelijk voor deze afname.

In brakke en zoute wateren liggen de gemeten rest-bètagehalten in dezelfde orde-grootte als in de zoete wateren. Begin juni werden voor alle zoute wateren rest-bètagehalten gevonden beneden  $1000 \text{ Bq/m}^3$ .

Ter beperking van de radioactieve besmetting van oppervlaktewateren en onderwaterbodems zijn door Rijkswaterstaat een aantal waterhuishoudkundige maatregelen genomen. Samengevat werden de volgende activiteiten uitgevoerd:

- extra doorspoeling van Limburgse en Brabantse kanalen met Maaswater;
- stopzetting vrije spui van Rijnwater via Volkeraksluizen naar de Oosterschelde;
- aangepast schutregime bij het Amsterdam-Rijnkanaal.

Daarnaast werd besloten juist geen maatregelen te nemen ten aanzien van:

- Afsluitdijk, Noordzeekanaal en Haringvlietsluizen;
- gebruik stuwen in Nederrijn/Lek (deze waren reeds gestreken).

### 6.7 Zuiveringsslib

Een deel van de depositie is via verharde oppervlakken afgevoerd naar rioolwaterzuiveringsinstallaties. Hierdoor werd ook het zuiveringsslib verontreinigd. Opmerkelijk is dat het slib relatief veel Ru-103 en Ru-106 bevatte. Deze elementen vormen driewaardige ionen, die sterk aan slib worden geadsorbeerd. Eind mei 1986 werden hogere activiteitsconcentraties in zuiveringsslib gevonden dan begin mei. In slib uit Nijmegen werd  $7000 \text{ Bq/kg}$  aan Cs-137 bepaald. De verklaring hiervan moet worden gezocht in de verblijftijd in de zuiveringsinstallaties en in de hechting van radioactiviteit uit de depositie aan stofdeeltjes op daken en straten. Dit stof bereikt na afspoeling met een zekere vertraging de zuiveringsinstallaties. Op grond van een oriënterend onderzoek is geconcludeerd dat maatregelen met betrekking tot de afzet van zuiveringsslib naar de landbouw niet nodig zijn. Het onderzoek aan zuiveringsslib wordt nog voortgezet.

## 7. BESMETTING VAN HET VOEDSEL EN VAN DE MENS IN NEDERLAND

### 7.1 Inleiding

Begin mei zijn vele instellingen met het onderzoek van gras, melk, groenten en andere levensmiddelen begonnen. Vooral de Rijkskeuringsdienst van Waren (RKvW) en het Ministerie van Landbouw en Visserij (MvLV) met het Landelijk Meetnet Radioactiviteit in Voedsel (LMRV) hebben op grote schaal metingen uitgevoerd. De eerste resultaten noopten de overheid tot het treffen van maatregelen om de ingestie van radionucliden door de bevolking te beperken. In bijlage 5 is een overzicht van deze en een aantal later getroffen maatregelen opgenomen. Ook de soortgelijke maatregelen en aanbevelingen van de EG zijn in deze bijlage vermeld. Nog steeds geldt dat melk, melkprodukten en zuigelingenvoedingsmiddelen aan Cs-134 en Cs-137 te zamen niet meer dan 370 Bq/l mogen bevatten en de overige eet- en drinkwaren niet meer dan 600 Bq/kg. Door het MvLV-LMRV worden naast I-131 alleen waarden voor Cs-137 gegeven, de RKvW geeft de som van Cs-134 en Cs-137. Daar in geheel Europa de depositie van Cs-134 ongeveer de helft is geweest van die van Cs-137, kan worden aangenomen dat deze zelfde verhouding ook voor voedingsmiddelen geldt. De strontiumisotopen, Sr-89 en Sr-90, waren slechts in geringe hoeveelheden in de depositie aanwezig, en daarom heeft de aandacht zich hoofdzakelijk op I-131 en de Cs-isotopen gericht.

### 7.2 Het Landelijk Meetnet Radioactiviteit in Voedsel van het Ministerie van Landbouw en Visserij

Het Ministerie van Landbouw en Visserij heeft ca. 25 jaar geleden maatregelen genomen om in geval van een nucleaire calamiteit te kunnen vaststellen of melk nog voldeed aan de daarvoor gestelde eisen. Er werd een voedselmonitor ontworpen, voorzien van o.a. een kleine natriumjodide-scintillatiedetector, opgesteld in een zogenaamd loodkasteel ter afscherming van de omgevingsstraling. Circa honderd van deze voedselmonitoren werden opgesteld in zuivelfabrieken en nog een twintigtal in slachthuizen om ook vlees te kunnen onderzoeken. Voor elke monitor werd personeel van de betrokken instelling geïnstrueerd in de bediening. Begin mei waren in totaal 130 monitoren opgesteld op zuivelfabrieken,

vleeskeuringsdiensten en op een aantal andere instellingen (zie fig. 7.2.1.). Sinds begin mei zijn grote aantallen monsters melk en vlees met behulp van dergelijke monitoren onderzocht, waardoor een goed overzicht is verkregen over het verloop van de melkbesmetting na het ongeval.

Een probleem was dat de melk en het vlees behalve I-131 en Cs-137 ook Cs-134 bevatten en soms kleine hoeveelheden andere nucliden, waardoor de meetresultaten werden beïnvloed. Bij het ontwerp van de monitor was namelijk geen rekening gehouden met de aanwezigheid van Cs-134, daar dit niet bij kernwapenexplosies wordt gevormd. Het komt echter wel vrij bij een ongeval met een kernreactor. Het bleek mogelijk de meetresultaten voor de aanwezigheid van dit Cs-134 te corrigeren.

Voor gras en bladgroenten lag de situatie begin mei veel moeilijker, doordat hierop alle radionucliden aanwezig waren, die ook in de depositie zijn aangetroffen. De gevonden activiteitsconcentraties waren daardoor te hoog, vooral voor Cs-137, zodat er grote correcties noodzakelijk waren. De meetresultaten van begin mei, toen de kortlevende nucliden nog niet waren vervallen, dienen daarom met voorzichtigheid te worden gehanteerd.

Voor vis geldt mogelijk hetzelfde. Het is niet bekend welke nucliden er in mei in de visserijprodukten aanwezig zijn geweest ten gevolge van het reactorongeval, zodat bij deze monsters de waarde van de meetresultaten met de voedselmonitoren onzeker is.

Door de grote lokale verschillen in depositie ontstonden ook grote lokale verschillen in de besmetting van gras, melk, groenten enz. De meetresultaten op één dag van een bepaald produkt vertoonden vaak zeer grote spreidingen. De meetresultaten van het LMRV worden daarom in de vorm van mediaanwaarden gepresenteerd. De mediaanwaarde is de waarde waarbij de helft van de meetresultaten een hogere en de helft een lagere waarde heeft.

Figuur 7.2.1. Landelijk Meetnet Radioactiviteit in Voedsel van het Ministerie van Landbouw en Visserij



- \* melkmonitors
- + vleesmonitors
- x centraal meetsysteem (Wageningen)
- zuivelcontrole-instellingen (Leeuwarden, Leusden)
- Δ vismonitor
- ⊙ groente-, fruitmonitor
- ⊕ veevoedermonitor

### 7.3 Gras

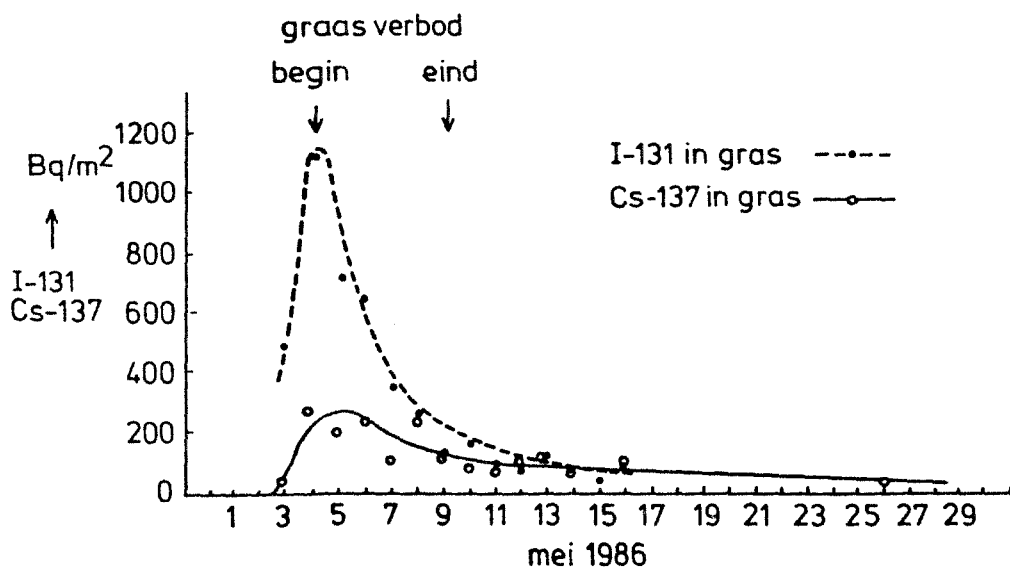
In het gras zijn dezelfde radionucliden gevonden als in de depositie en ook in dezelfde verhoudingen.

Op een aantal plaatsen zijn gedurende de maand mei en soms gedurende langere perioden metingen verricht, waaruit conclusies kunnen worden getrokken over de snelheid waarmee de activiteitsconcentraties van het gras afnemen. (Metingen door ECN, IRI, KEMA, KVI, RIVM, SBD-Wageningen). Het verloop van de gemiddelde I-131- en Cs-137-besmetting van een beperkt aantal grasmonsters uit het gehele land wordt getoond in fig. 7.3.1. Het blijkt dat de nucliden in de eerste dagen na de radioactieve besmetting met een halveringstijd van 1 à 2 dagen van of uit het gras verdwenen zijn door andere oorzaken dan het radioactief verval. De schone regen na 5 mei en de snelle groei van het gras na deze eerste meiregens zijn hiervoor waarschijnlijk verantwoordelijk. Volgens metingen van het ECN nam de hoeveelheid gras per m<sup>2</sup> tussen 2 en 7 mei op een niet begraasd weiland in St.-Maartensbrug tot het drievoudige toe! In de volgende periode, tot ongeveer eind mei, daalden de activiteitsconcentraties van alle radionucliden met een halveringstijd van ongeveer tien dagen, het radioactief verval niet meegerekend, maar daarna ging de afname langzamer. De hoogste concentraties aan I-131 (3300 Bq/kg, uitgedrukt in vers produkt) zijn op 4 mei gevonden en enkele dagen later de hoogste concentraties van Cs-137 (1400 Bq/kg), zodat door het graasverbod van 4 mei is voorkomen dat de koeien het gras met de grootste concentraties radionucliden hebben gegeten. Toen de koeien op 8 mei weer naar buiten konden, waren de activiteitsconcentraties al tot ongeveer een kwart van de hoogste waarden afgenomen.

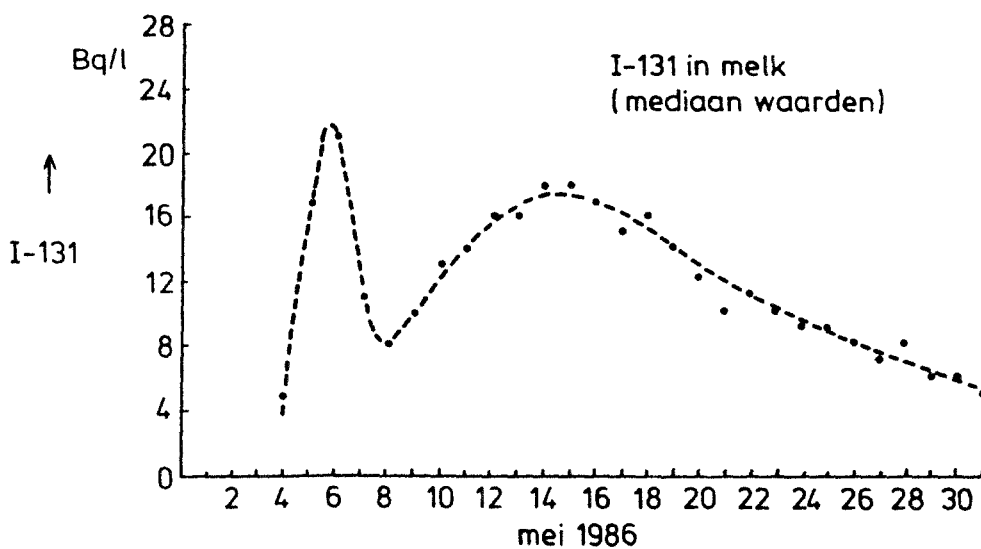
Eind mei waren de kortlevende nucliden grotendeels vervallen en bevatte het gras alleen nog de ruthenium- en de cesiumisotopen in meetbare hoeveelheden. Volgens metingen van het LMRV was de mediaanwaarde voor Cs-137 in juli ongeveer 40 Bq/kg.

Nadat het gras dat begin mei direct door de depositie was besmet, van de weilanden was verdwenen, werd wortelopname uit de grond de enige besmettingsbron.

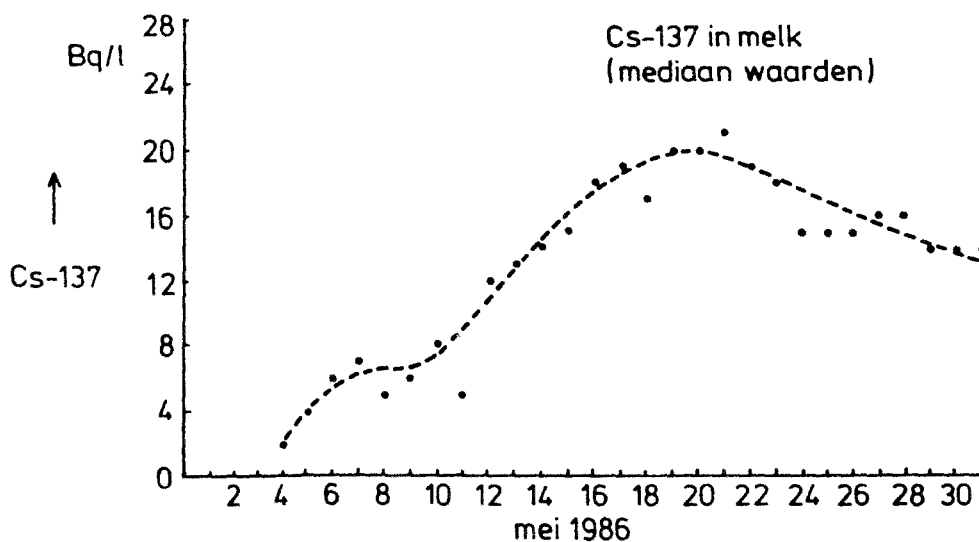
Figuur 7.3.1. Gemiddelde waarden voor de besmetting van gras met I-131 (RIVM).



Figuur 7.4.1. Mediaanwaarden voor het gehalte aan I-131 in melk (LMRV)



Figuur 7.4.2. Mediaanwaarden voor het gehalte aan Cs-137 in melk (LMRV)



Daar de cesiumisotopen, de enige nucliden die op lange termijn van belang zijn voor de volksgezondheid, slecht door het gras worden opgenomen, zullen de concentraties in gras laag blijven.

In mei en juni gemaaid gras dat is ingekuild of tot hooi verwerkt, vertoont vrij hoge activiteitsconcentraties aan cesiumisotopen: graskuilvoer bemonsterd tussen half mei en half juni bevatte gemiddeld per kg droge stof 160 Bq aan Cs-137 en 80 Bq aan Cs-134. Het is hierdoor te verwachten dat de melk en het vlees in de winter 1986/1987, wanneer dit kuilvoer en hooi worden gebruikt, wat meer van deze radionucliden zullen bevatten dan in het najaar van 1986.

#### 7.4 Melk, melk- en zuivelprodukten

Melk is één van de belangrijkste bronnen van radioactieve besmetting in het voedingsmiddelenpakket. Met het oog daarop zijn er zeer grote aantallen melkmonsters onderzocht, vooral door het LMRV van het Ministerie van Landbouw en Visserij. Dit meetnet (zie figuur 7.2.1.) trad al op 2 mei in werking. Ook de RKvW heeft vanaf 5 mei veel monsters van melk en melkprodukten uit binnen- en buitenland geanalyseerd.

Met het besmette gras nam de koe begin mei een grote verscheidenheid aan radionucliden op, maar lang niet al deze nucliden werden ook in de melk aangetroffen. Elementen als molybdeen, ruthenium en tellurium worden slecht door de koe uit het voer opgenomen, zodat ook in de eerste week van mei de melk vrijwel alleen radioactieve jodium- en cesiumisotopen bevatte, met incidenteel kleine concentraties aan andere nucliden zoals het kortlevende Te-132 (halveringstijd 3,25 dagen).

Vóór mei 1986 bevatte de melk ongeveer 0,04 Bq/l aan Sr-90 en ongeveer 0,5 Bq/l aan Cs-137, nog een gevolg van de bovengrondse kernwapenproefnemingen door de Verenigde Staten, de Sowjet Unie en China.

#### Jodium-131 in melk

Na het passeren van de radioactieve lucht over Nederland op 2 en 3 mei werd het duidelijk dat vooral de I-131-concentratie in de melk zonder tegenmaatregelen tot aanzienlijk hogere waarden zou kunnen oplopen dan 500 Bq/l, de waarde die toen als maximum werd aangehouden. Deze waarde ligt een factor vijf lager dan het lage interventieniveau voor het nemen van niet-ingrijpende maatregelen na een kernreactorongeval, genoemd in een



advies van de Gezondheidsraad, dat toen nog niet was uitgebracht (GR86). Deze factor vijf is ingevoerd omdat het hier de gehele bevolking betrof en omdat er nog andere radionucliden in de melk aanwezig waren en er ook andere besmette levensmiddelen werden geconsumeerd.

Het door de koe ingeslikt jodium verschijnt al na enkele uren in de melk. Zo vond het ECN in Petten in de ochtendmelk van 4 mei 170 Bq/l van dit nuclide met daarnaast 10 Bq/l aan Cs-137. Op 3 mei werd besloten dat de melkkoeien met ingang van 4 mei op stal moesten worden gebracht of gehouden. Het effect op het I-131-gehalte in de melk was groot, zoals blijkt uit fig. 7.4.1., waarin de mediaanwaarden van de I-131-concentraties, bepaald door het LMRV, zijn weergegeven. Daar de meeste melk tegenwoordig maar eens per twee dagen bij de boerderijen wordt opgehaald, was de in de zuivelinrichtingen bemonsterde melk gemiddeld al één dag oud, waardoor het besmettingsbeeld, verkregen met gegevens van het LMRV, ongeveer één dag verschoven is ten opzichte van de werkelijke situatie bij de produktie van de melk.

Het LMRV vond een hoogste mediaanwaarde van 21 Bq/l voor de I-131-concentraties in de op 6 mei op de zuivelfabrieken aangevoerde melk.

Zonder het graasverbod zou het I-131-gehalte ongetwijfeld tot hogere waarden zijn opgelopen. Dit blijkt onder meer uit onderzoek van het KVI in Groningen aan melk van koeien die tijdens het graasverbod wel en niet binnen zijn gehouden. Op 7 mei was de I-131-concentratie in de melk van de buiten gebleven koeien meer dan vijf maal zo hoog als bij binnen gehouden koeien. Soortgelijke verschillen zijn door ECN en KEMA waargenomen. Het LMRV vond de hoogste waarden in door de AID in beslag genomen melk van koeien, die in strijd met het graasverbod buiten waren gebleven. Op 6 mei is er bij deze melk één partij gevonden met 650 Bq/l aan I-131 en 460 Bq/l aan Cs-137.

Nadat de koeien op 8 mei weer naar buiten konden, werd een nieuwe stijging in de I-131-concentraties waargenomen. Het LMRV vond een tweede maximum op 14 en 15 mei; de mediaanwaarde van die dag bemonsterde melk bedroeg ca. 18 Bq/l.

Na half mei bevatte het gras vrijwel geen I-131 meer en er begon toen een voortdurende daling in de I-131-concentratie van de melk.

Doordat de koe het opgenomen jodium zo snel in de melk uitscheidt, blijkt het verschil tussen koeien die binnen en buiten zijn gehouden tijdens het graasverbod, vrij snel te zijn verdwenen. Het KVI vond op 10 en 11 mei nog

slechts kleine verschillen.

In de Samenvattende Voortgangsrapporten van 13 mei en 20 juni (SV86a, SV86b) is vermeld dat de gemiddelde I-131-concentratie in de melk begin mei maximaal 55 Bq/l is geweest. Door de grote aantallen meetresultaten die in het kader van het LMRV door de zuivelfabrieken moesten worden doorgegeven, raakten de communicatielijnen overbelast, waardoor de zuivelfabrieken werd verzocht alleen de hoogste waarden te melden. Dit heeft geleid tot een vertekening van het beeld voor de gemiddelde melkbesmetting; de hoogste dagwaarde voor de gemiddelde I-131-concentratie zal achteraf gezien dichterbij de thans door het LMRV opgegeven maximale mediaanwaarde van 21 Bq/l, omdat daarin ook alle andere metingen zijn verdisconteerd.

#### Cesium-137 in melk

Cesium wordt na ingestie veel langzamer door de koe in de melk uitgescheiden dan jodium, hetgeen blijkt uit fig. 7.4.2. met de mediaanwaarden voor het Cs-137-gehalte in melk, bepaald door het LMRV. Het maximum voor de mediaanwaarde van de metingen in de zuivelfabrieken, ca. 20 Bq/l, is pas op 21 mei bereikt. De afname van de besmetting verloopt ook veel geleidelijker: de mediaanwaarden zijn eind mei 14 Bq/l en in juli minder dan 5 Bq/l.

Het graasverbod heeft ook gunstig gewerkt voor de uiteindelijke cesiumbesmetting van de melk. Door de langzamere en vertraagde uitscheiding van door de koe opgenomen cesium was dit in de eerste dagen nog niet duidelijk. Het KVI vond in melk van tijdens het graasverbod buiten gebleven koeien op 7 en 8 mei 3 à 11 maal hogere concentraties aan Cs-137 dan in melk van binnen gebleven koeien. Op 11 mei was het verschil nog een factor 1,5.

Dat de melkbesmetting na mei snel is afgenomen blijkt ook uit de metingen van monsters uit het Nationale Meetprogramma van de CCRX, opgenomen in tabel 7.4.1. Begin september blijkt het Cs-137-gehalte van de melk gemiddeld 0,6 Bq/l boven de waarde te liggen, die vóór "Tsjernobyl" werd gemeten. Het Sr-90-gehalte was begin juni met slechts 0,06 Bq/l toegenomen en het lag begin augustus bijna weer op de waarde van begin 1986.

Tabel 7.4.1. Meting van de activiteitsconcentraties in melk door het RIVM in door de VHI genomen mengmonsters uit Noord-, Oost-, West- en Zuid-Nederland. Gemiddelde waarden van de meetresultaten aan de regionale monsters.

Monstername 1986	Sr-89 Bq/l	Sr-90 Bq/l	I-131 Bq/l	Cs-134 Bq/l	Cs-137 Bq/l
1e kwartaal	0	0,04	0	0	0,5
7-21 mei	0,12	0,07	5-12	2	5
2 en 3 juni	0,2	0,10	0	5	7
1 en 2 juli	0,06	0,06	0	1,0	2,2
1 en 4 aug.	0,03	0,05	0	0,8	1,9
1 september				0,5	1,1

#### Overige zuivelprodukten

Er is een zeer beperkt aantal zuivelprodukten onderzocht: melkpoeder, yoghurt, kefir, kaas en kwark. De activiteitsconcentraties lagen op niveaus die volgens de besmettingsgraad van de melk waaruit deze produkten zijn bereid, te verwachten waren.

Voor schapen is er geen graasverbod geweest. Daardoor is de besmetting van schapemelk hoger geweest dan die van koemelk. In de eerste helft van mei zijn mediaanwaarden van 250 Bq/l voor I-131 en 50 Bq/l voor Cs-137 waargenomen, met als maximale door de RKvW gerapporteerde waarden 1700 Bq/l aan I-131 en 150 Bq/l aan Cs-137. In schapekaas is begin mei tot 600 Bq/kg aan I-131 gevonden, met een mediaanwaarde van 100 Bq/kg. Dergelijke waarnemingen hebben op 7 mei geleid tot een verbod om schapemelk onmiddellijk in de handel te brengen of te verwerken tot direct voor consumptie geschikte produkten (zie bijlage 5). Er zijn slechts enkele monsters geitemelk en geitekaas gemeten, waarin geen tot zeer lage besmettingen zijn geconstateerd.

### 7.5 Vlees en vleesprodukten

Zowel de RKvW als het LMRV, met voedselmonitoren bij de Rijksdienst voor de Keuring van Vee en Vlees (RVV), hebben in mei vlees van verschillende dieren onderzocht en tevens organen van deze dieren, in het bijzonder schildklieren.

Zoals reeds in 7.4 is vermeld, neemt de koe lang niet alle nucliden even goed uit het voer op en ditzelfde geldt ook voor andere dieren en de mens. Zo heeft de RKvW in het vlees alleen verhoogde concentraties aan jodium- en cesiumisotopen gevonden. In rundvlees is de concentratie aan I-131 niet boven 200 Bq/kg gekomen met als gemiddelde waarde 30 Bq/kg.

De hoogste Cs-concentratie in rundvlees is 200 Bq/kg geweest, gemeten op 15 mei. Na mei is de besmetting van rundvlees met Cs-137 gedaald, zoals dit ook in de melk te zien was (zie 7.4.). De gemiddelde waarde over de periode mei tot en met juli is onder de 50 Bq/kg gebleven. Bij het afsluiten van dit rapport, in september, werden er soms nog vrij hoge waarden (tot 100 Bq/kg) gemeten, waarvan het echter onduidelijk was, hoe deze waarden het gemiddelde beïnvloedden. De waarden voor kalfsvlees lagen wat hoger, mogelijk als gevolg van een verschillend voederregime.

Bij het onderzoek van schapevlees werd in één monster meer dan 1000 Bq/kg I-131 gevonden. In enkele gevallen werden hoge concentraties aan Cs-137 aangetroffen, tot maximaal 1000 Bq/kg. Ditzelfde geldt voor lamsvlees afkomstig van Terschelling.

Varkensvlees is slechts in geringe mate besmet geweest, doordat varkens veelal binnen worden gehouden en niet of weinig besmet voer hebben gegeten. Voor juni waren de Cs-137-concentraties volgens RVV-metingen steeds onder 30 Bq/kg en de mediaanwaarde voor juli was 5 Bq/kg.

Jodium wordt door mens en dier in de schildklier vastgelegd en in deze organen van koeien en schapen zijn dan ook hoge I-131-concentraties gevonden. De hoogste door de RKvW gerapporteerde waarde was ca. 40 000 Bq in een schildklier van een koe. De relatief hoge activiteiten per massa-eenheid hebben geleid tot een ministerieel besluit om met ingang van 6 mei schildklieren van geslachte dieren te vernietigen. Relatief hoge waarden voor de I-131-besmetting van schildklieren zijn door de RKvW gevonden tot eind juni. De mediaanwaarde voor juli was 70 Bq/kg volgens metingen van het RVV.

## 7.6 Groenten en fruit

Begin mei werden alle te velde staande gewassen radioactief besmet. Ook op gewassen in kassen is uit door de kas gevoerde besmette lucht radioactiviteit afgezet. Tevens kunnen deze kasgewassen zijn besmet door besproeiing met besmet oppervlakte- of regenwater. Bladgroenten zijn in mei door de depositie relatief zwaar besmet geraakt en vooral de spinazie bleek de nucliden uit de depositie zeer snel op te nemen. Het relatief groot bladoppervlak en de poreuze aard van de bladeren wordt hiervoor wel als oorzaak genoemd. Spinazie is verder een groente die relatief veel jodium bevat en in perioden van snelle groei veel jodium zal kunnen opnemen. Waarden tot 10 000 Bq/kg aan I-131 zijn op 6 mei gerapporteerd door de RKvW, met een gemiddelde over de eerste week van mei van 1600 Bq/kg. De hoogste waarde voor Cs-137 in spinazie in die week was 1100 Bq/kg; het gemiddelde bedroeg 200 Bq/kg.

Behalve I-131 en Cs-137 waren ook de andere radionucliden die in Nederland na het reactorongeval zijn aangetroffen, in de groenten aanwezig en in dezelfde verhoudingen als in de depositie. Andere groenten dan spinazie bleken in het algemeen minder besmet te zijn. In andijvie, peterselie, prei, raapstelen en selderij werd korte tijd meer dan 100 Bq/kg aan I-131 gevonden. Met wassen kon slechts een gedeelte van de radionucliden worden verwijderd.

Als norm voor het I-131-gehalte in groenten werd in eerste instantie 1300 Bq/kg gehanteerd. Op grond van de berichten over de hoge besmettingsgraad van spinazie werd met ingang van 7 mei een verbod uitgevaardigd om deze groente in de handel te brengen. De bevolking werd dringend aangeraden geen verse spinazie te eten. Na de eerste week van mei daalden de radioactiviteit van de groenten snel (zie tabel 7.6.1.) en het "spinazieverbod" kon daardoor al per 10 mei worden ingetrokken. Van 9 tot 23 mei werd een richtwaarde voor de bladgroentebesmetting met I-131 1000 Bq/kg, daarna een van 250 Bq/kg gehanteerd.

Tabel 7.6.1. Hoogste en gemiddelde gehalten aan I-131 en Cs-137 in groenten na het reactorongeval in Tsjernobyl (RKvW)

Periode	I-131 in Bq/kg									
	Andijvie		Sla		Peterselie		Selderij		Spinazie	
	max.	gem.	max.	gem.	max.	gem.	max.	gem.	max.	gem.
2-8 mei	8000	1250	3000	250	3230	3230	2750	1350	10200	1580
9-15 mei			800	160	1560	550	1090	320	3800	650
16-22 mei	460	90					800	460	1700	150
23-29 mei					120	30			110	8

Waar niets is ingevuld, zijn geen gegevens bekend.

Naast de besmetting van de groenten door directe bladopname gaat later de opname van radionucliden via de wortels een rol spelen. Daarbij zijn alleen de wat langer levende radionucliden van belang, i.c. Cs-134, Cs-137, Ru-103 en Ru-106. Cesium en ruthenium worden evenwel slecht door planten uit de grond opgenomen, zodat deze indirecte besmetting van groenten (en andere voedingsgewassen) gering zal blijven.

Het in Nederland geteelde fruit bevatte slechts geringe concentraties aan I-131. De meeste vruchten kwamen pas geruime tijd na de besmetting op de markt en het I-131 was toen voor het grootste gedeelte vervallen. Concentraties van meer dan 50 Bq/kg zijn er van dit nuclide in fruit dan ook niet gevonden. Van Cs-137 zijn wel hogere concentraties aangetoond. In een beperkt aantal monsters kersen, perziken en nectarines vond de RKvW gemiddeld 100 tot 170 Bq/kg.

### 7.7 Visserijprodukten

Begin mei is het Ministerie van Landbouw en Visserij gestart met een wekelijks bemonsteringsprogramma van Nederlandse visserijprodukten. De visserijprodukten werden door het Rijksinstituut voor Visserijonderzoek (RIVO) genomen en op radioactiviteit onderzocht in de voedselmonitoren van de Rijksdienst voor de Keuring van Vee en Vlees.

Uit de resultaten van het monitoringsprogramma bleek de zeer snelle stijging van radioactiviteit in het Nederlandse oppervlaktewater gepaard te gaan met een eveneens zeer snelle stijging van de radioactiviteit in zoetwatermosselen uit het IJsselmeer. Gemeten werden niveaus in de orde van grootte van enkele honderden becquerel per kilogram. De zeer snelle stijging van de activiteitsconcentraties in deze visserijprodukten werd gevolgd door een eveneens zeer snelle daling, waardoor eind mei de activiteitsconcentraties hierin in vrijwel alle gevallen weer tot beneden de detectiegrens van een 30 Bq/kg waren gedaald. Door het stilliggen van de mosselvisserij in de maanden april, mei en juni en de geringe aanvoer van garnalen in deze periode zal de in mei opgetreden lichte radioactieve besmetting van mosselen en garnalen voor de consument van uiterst geringe betekenis zijn geweest.

In vissen kon aanvankelijk geen stijging van de radioactiviteit worden vastgesteld. Dit laatste was in overeenstemming met gegevens uit de literatuur, waaruit blijkt dat vissen slechts zeer langzaam radioactiviteit uit het water opnemen. Zoetwatervissen doen er bijvoorbeeld ongeveer een maand over om bij 20-22 °C de helft van de bij een bepaald besmettingsniveau van het water behorende radioactiviteit op te nemen. Bij overbrenging in schoon water duurt het overigens eveneens ongeveer een maand totdat dit door de vis opgenomen activiteitsniveau weer tot ongeveer de helft is gedaald (Ke84). Voor de Nederlandse situatie kon dus een langzame stijging in de radioactiviteit in vissen worden verwacht, gevolgd door een eveneens langzame daling vanaf het moment dat de radioactieve besmetting in het water weer vermindert. Aangezien de besmettingsgraad van het water van de grote rivieren en het IJsselmeer na een piek in mei snel is gedaald (zie figuur 6.6.1) werden de hoogste activiteitsconcentraties in vissen uit het IJsselmeer omstreeks eind mei bereikt. Dit niveau lag met enkele tientallen Bq/kg nauwelijks boven de detectiegrens van de voor het onderzoek gebruikte voedselmonitoren.

Teneinde een nauwkeuriger beeld te verkrijgen van de kwaliteit van Nederlandse visserijprodukten is door de Stuurgroep "Visverontreiniging" van de Landbouw Advies Commissie "Milieukritische Stoffen" (LAC) in juni 1986 een extra bemonsteringsprogramma uitgevoerd van een aantal geselecteerde visserijprodukten. De metingen hiervoor zijn verricht door het RIVM (detectiegrens: 0,01 Bq/kg). De besmetting van mosselen met Cs-isotopen bleek met enkele becquerel per kilogram al weer zeer gering te

zijn geworden. In mosselen van begin juni uit de Waddenzee waren nog wel relatief hoge concentraties aan Ru-103 en Ru-106 aanwezig: ca. 30 Bq/kg aan Ru-103 en 12 Bq/kg aan Ru-106. Een relatief hoge besmetting met Ru-isotopen is ook in mosselen uit de Duitse Waddenzee gemeld.

Vis uit het IJsselmeer bevatte nagenoeg geen Ru-isotopen, doch wel ca. 20 Bq/kg Cs-137 en 10 Bq/kg Cs-134. Vis uit het Hollands Diep bevatte slechts 5 Bq/kg Cs-137 en 3 Bq/kg Cs-134.

Vóór het kernreactorongeval in Tsjernobyl bevatten uit het Nederlandse kust- en binnenwater afkomstige visserijproducten ongeveer 1 Bq/kg aan Cs-137 en ongeveer een factor 30 maal minder Cs-134. Verwacht mag worden dat zich na verloop van tijd een situatie zal ontwikkelen, waarbij de activiteitsconcentratie aan Cs-137 in uit het Nederlandse kust- en binnenwater afkomstige visserijproducten globaal op een verwaarloosbaar niveau van een 2 Bq/kg komt, voor Cs-134 de eerste jaren op een niveau van rond de 0,5 Bq/kg. Voor mosselen zijn deze niveaus in juni 1986 al ongeveer bereikt, voor vissen uit het IJsselmeer zal dit nog wel enige tijd duren. Een nog moeilijk te voorspellen factor hierbij is de nalevering van radionucliden door het slib, waaraan het merendeel van de neergekomen radioactiviteit is gebonden.

#### 7.8 Overige voedingsmiddelen

De meting van de radioactieve besmetting in niet in het voorgaande genoemde voedingsmiddelen gaf in het algemeen lage besmettingsniveaus te zien voor zowel I-131 als radioactief cesium.

In wilde paddestoelen zijn in september door het KVI en de VU in Amsterdam gehalten aan Cs-137 gevonden tot 1000 Bq/kg. Paddestoelen nemen de Cs-isotopen erg goed uit de grond op (Gr64). Bovendien bevindt het Cs-137 zich nog in de bovenste centimeters van de grond en paddestoelen vormen hun mycelium vlak onder het oppervlak zodat dit in contact komt met de grondlaag met de hoogste activiteitsconcentraties.

In champignons, die in Nederland niet in de buitenlucht worden gekweekt, heeft de RKvW geen Cs-137 kunnen aantonen.



### 7.9. Drinkwater

Het onderzoek van drinkwater is vrijwel beperkt gebleven tot die bedrijven die oppervlaktewater gebruiken. Het gevaar voor besmetting van grondwater is vrijwel verwaarloosbaar, doordat de verblijftijd van het water in de bodem voordat het weer wordt opgepompt, dermate lang is (van ten minste zes maanden tot tientallen jaren) dat alle kortlevende radionucliden door radioactief verval zijn verdwenen. Alleen door beluchting van het water is begin mei enige besmetting mogelijk geweest. De langlevende radionucliden als Cs-137 en Sr-90 worden zo goed aan mineralen in de bodem gebonden, dat ook deze nucliden in het algemeen niet tot het grondwater zullen doordringen. Zo is van het Sr-90 en Cs-137 dat ten tijde van de kernwapenproeven op het aardoppervlak is afgezet, tot op heden in het grondwater niets aangetoond.

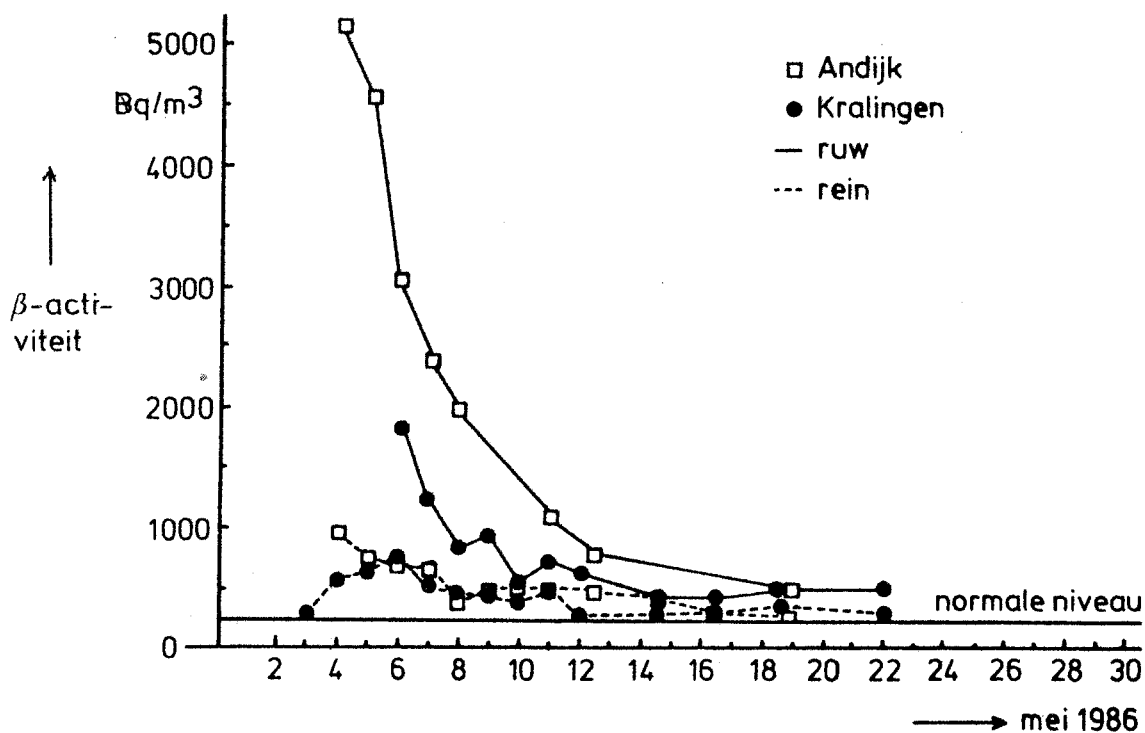
Medio mei werden monsters ruw en rein water onderzocht van drie grondwaterpompstations in Oost-Gelderland, die ten aanzien van een mogelijke besmetting met regenwater zouden kunnen worden gerekend tot respectievelijk de groepen "kwetsbaar", "vermoedelijk kwetsbaar" en "niet kwetsbaar". In overeenstemming met de verwachting bleken de radioactiviteitsniveaus niet verhoogd.

Door de bedrijven die oppervlaktewater toepassen voor de drinkwaterbereiding, zijn in de kritieke periode frequenter metingen van de totale bèta-activiteit uitgevoerd aan zowel het ruwe als aan het reine water.

De activiteitsniveaus van het ruwe water lopen voor de bedrijven uiteen. Het waterwinningsbedrijf Brabantse Biesbosch heeft in de periode van 5-20 mei geen water ingenomen, zodat de besmetting van het water in de bekkens beperkt is gebleven tot die door de neerslag.

Door de sterke verdunning van de depositie in de relatief diepe bekkens is de bèta-activiteit van het aan Rotterdam en verzorgingsgebied, Dordrecht en Oost-Brabant afgeleverde ruwe water niet boven 2000 Bq/m<sup>3</sup> uitgekomen (zie fig. 7.9.1.).

Figuur 7.9.1. Verloop van de totale bèta-activiteit van ruw en rein water bij de waterleidingpompstation in Andijk en Kralingen (Metingen van de waterleidingbedrijven).



Hogere activiteitsconcentraties, tot ca. 5000 Bq/m<sup>3</sup>, werden gevonden voor het ruwe water van het pompstation Andijk (Provinciale Waterleidingmij. Noord-Holland) dat zijn water via het spaarbekken Andijk onttrekt aan het IJsselmeer (zie fig. 7.9.1.).

Concentraties van dezelfde grootte-orde werden gevonden voor het ruwe water dat uit de duinen wordt onttrokken voor de gemeente Amsterdam. Het betreft hier geïnfiltrerd water, afkomstig uit de Lek. Aangenomen moet worden dat de relatief hoge concentraties veroorzaakt zijn door menging van reeds opgepompt water met regenwater.

Na de zuivering bleek de totale bèta-activiteit van het verkregen reine water aanzienlijk lager en ruimschoots onder de 1000 Bq/m<sup>3</sup> te blijven. In alle gevallen was de activiteit omstreeks 20 mei vrijwel terug op het normale niveau van ca. 250 Bq/m<sup>3</sup>. Bij de beoordeling van deze waarden dient men er rekening mee te houden dat bij de preparaatbereiding voor de bèta-activiteitsmeting het I-131 gedeeltelijk ontwijkt.

Het reine water is gammaspectrometrisch onderzocht door het IRI in Delft. Begin mei werd daar ca. 1000 Bq/m<sup>3</sup> aan I-131 en enkele honderden Bq/m<sup>3</sup> aan Ru-103 en Cs-137 gevonden.

#### 7.10 Geïmporteerd voedsel

De RKvW heeft sinds 30 mei honderden partijen nog te importeren voedingsmiddelen in samenspel met de douane-autoriteiten aan een onderzoek op radioactieve besmetting met Cs-134 en Cs-137 onderworpen. Bij de grens in Venlo, waar ongeveer 90% van de desbetreffende invoer plaatsvindt, werd een continu bezette meetpost ingericht. Voor douanemeldingen van importen buiten kantooruren werd een der 16 regionale rijkskeuringsdiensten van waren (namelijk de RKvW te Nijmegen) aangewezen als centraal meldpunt. De metingen werden bij toerbeurt verricht door de diensten in 's-Hertogenbosch, Nijmegen en Venlo. Geen overschrijdingen van de EG-norm (zie bijlage 5) zijn waargenomen, behalve bij enkele partijen geïmporteerd fruit.

De hoogste Cs-137-gehalten werden gevonden in Griekse kersen, met een maximum van 1400 Bq/kg, en in één monster Hongaarse aalbessen 610 Bq/kg. De gemiddelde waarden bedroegen niet meer dan 300 Bq/kg, ongeveer twee à drie maal zo hoog als die voor dezelfde Nederlandse produkten.

In buitenlandse (Duitse en Italiaanse) kwark en zachte kaas zijn in juni nog Cs-137-gehalten tot 450 Bq/kg gevonden. In Westeuropese melkpoeders werd in mei tot 100 Bq/kg aan I-131 en tot 300 Bq/kg aan Cs-137 gemeten.

In enkele monsters kruiden uit de Provence (thijm en rozemarijn), geplukt in augustus, vond het KVI gehalten tot 1500 Bq/kg aan Cs-137.

Dat het voedsel in landen met veel depositie toch niet zwaar is besmet bleek uit maandelijks onderzoek van de RKvW aan voedselpakketten uit acht Europese hoofdsteden; deze pakketten vertoonden dezelfde gehalten aan Cs-137 als het voedsel in Nederland.

## 7.11 Personen

### 7.11.1 Inleiding

Naast metingen van de radioactieve besmetting van het milieu en voedselproducten zijn er ook metingen verricht aan personen. Deze metingen zijn bedoeld om een directe indicatie te krijgen van de opgelopen inwendige besmetting die is ontstaan door inhalatie van met radioactieve stoffen besmette lucht en door ingestie van besmet voedsel.

Op verzoek van de Geneeskundige Hoofdinspectie stelden het IRS en de RD/TNO hun totale lichaamstellers (whole body counters, WBC) ter beschikking om metingen aan personen te verrichten. Daarnaast was het NVIC (RIVM) belast met de coördinatie van de meetresultaten en de nazorg. Verder hebben het ECN en RIVM (LSO) op eigen initiatief enig onderzoek gedaan naar de besmetting van personen.

Wat betreft de resultaten van de metingen kunnen er twee categorieën worden onderscheiden: personen die tijdens of na het reactorongeval in het buitenland (Oost-Europa) vertoefden en personen in Nederland.

### 7.11.2 Personen uit Oost-Europa

Eind april en begin mei was de besmettingstoestand in Oost-Europa onbekend. Het NVIC stond reeds op 1 mei voor de taak een groep van 28 reizigers uit de Sowjet Unie onmiddellijk te screenen op radioactiviteit. Men heeft toen de urine onderzocht op radionucliden met als criterium voor nader onderzoek dusdanige besmettingsniveaus, dat stoornissen in de schildklierwerking zouden kunnen worden verwacht. Bij geen der onderzochte personen werd aan dit criterium voldaan.

De maximale I-131 besmetting in de urine bedroeg 625 Bq/l, voor Cs-137 was het hoogste niveau 375 Bq/l. Bij alle onzekerheden in de analyse, die aan deze vorm van screening kleeft, kon als maximale schatting voor de schildklierbelasting met I-131 een initiële belasting van  $2 \times 10^5$  Bq worden vastgesteld, corresponderend met een effectief dosisequivalent van 6000  $\mu$ Sv. Voor Cs-137 kon een maximaal effectief dosisequivalent van 60  $\mu$ Sv worden vastgesteld.

Na de eerste dagen in mei was de opvang beter geregeld en kon de inwendige besmetting steeds met totale lichaamstellers worden gemeten op het IRS of de RD/TNO. De resultaten waren zodanig dat in mei voornamelijk I-131 werd gevonden en in juni en daarna vooral Cs-134 en Cs-137.

Van personen die in Oost-Europa waren geweest werden in mei inwendige besmettingen met I-131 gemeten van 40 - 8000 Bq per persoon. In de meeste gevallen was dit terug te voeren tot een relatief kort durende inname, waardoor het mogelijk was het daarmee gepaard gaande effectief volgdosisequivalent (zie 9) te schatten. Deze schattingen varieerden van 10 tot 800  $\mu$ Sv.

Op grond van de metingen en de plaats waar de reizigers waren geweest, kon een beeld van de besmetting worden vastgesteld. De grootte van de I-131 besmetting bij verblijf tussen 26 april en 6 mei in diverse regio's wordt gegeven in tabel 7.11.1.

Tabel 7.11.1. Gemiddelde persoonlijke inwendige besmetting met I-131 en daaruit voortvloeiend effectief dosisequivalent bij verblijf tussen 26 april en 6 mei in diverse regio's in Oost-Europa en overeenkomstige schatting voor Nederland

Regio	Inwendige besmetting Bq	Effectief dosis- equivalent $\mu$ Sv
Kiev en omstreken	10 000 - 15 000	130 - 200
Wit Rusland	6 000 - 10 000	80 - 130
Moskou, Leningrad, Riga	2 000 - 6 000	30 - 80
Polen	1 000 - 4 000	13 - 50
Hongarije, Roemenië	500 - 1 500	6 - 20
Nederland	150 - 500	2 - 6

In deze tabel is aangegeven hoe groot het uit deze besmettingen resulterende dosisequivalent zal zijn.

Er is ook een besmettingsniveau voor I-131 te schatten dat voor een verblijf in een bepaalde periode in Polen zou gelden (zie tabel 7.11.2).

Tabel 7.11.2. Verloop van de te verwachten persoonlijke inwendige besmetting met I-131 in Polen voor de periode 26 april tot 20 mei en het daaruit voortvloeiend effectief dosisequivalent.

Periode	Inwendige besmetting Bq	Effectief dosisequivalent $\mu\text{Sv}$
26 - 30 april	ca. 2500	30
30 - 4 mei	ca. 1000	13
4 - 10 mei	ca. 500	6
10 - 20 mei	ca. 100	2

In juni zijn er besmettingen van Cs-137 gemeten, die varieerden van 40 - 1200 Bq per persoon. Hiervoor is het veel moeilijker te schatten wat de daarbij behorende dosis is, omdat de cesiumopname geleidelijk aan plaats vindt. Desondanks is het duidelijk dat de dosis lager is dan in overeenkomstige omstandigheden in mei. Schattingen voor de dosis liggen, met alle onzekerheid, tussen 1 en 20  $\mu\text{Sv}$ .

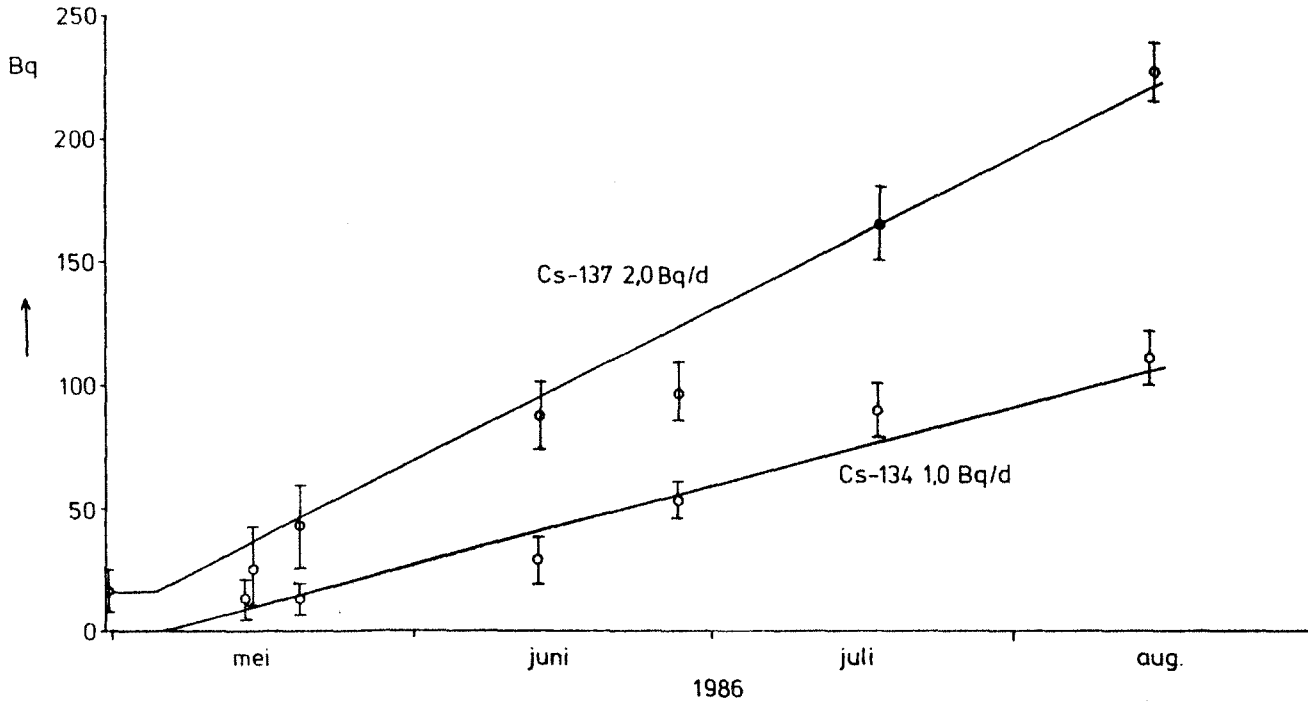
### 7.11.3 Personen in Nederland

Op diverse plaatsen (ECN, IRS, RD/TNO, RIVM) is de besmetting gemeten van personen die in Nederland verbleven en van wie de inwendige besmetting dus afkomstig is van de besmetting in Nederland. Ook hier was het patroon: in mei werd het beeld beheerst door I-131, in juni en later door cesium-isotopen Cs-134 en Cs-137. Daarnaast was het in sommige gevallen mogelijk ook andere radionucliden te detecteren (bijvoorbeeld Ru-103).

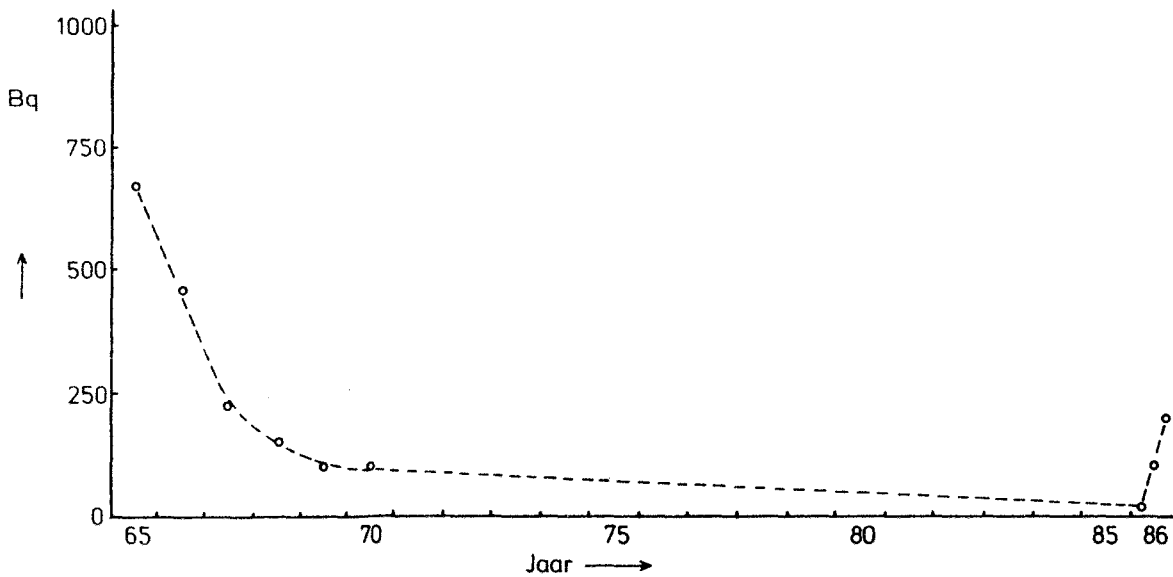
Het verloop van de I-131-besmetting in de loop van de tijd was zodanig, dat de hoogste besmettingen werden gemeten in de eerste helft van mei. Deze werden veroorzaakt door geïnhaled jodium uit de radioactieve lucht en door de consumptie van besmette melk en groenten van begin mei. De hoogste besmettingen werden tussen 10 en 15 mei gemeten, met waarden rond 100 Bq per persoon, met één uitzondering van 200 Bq.

Uit de metingen van Cs-134 en Cs-137 bleek een langzaam in de loop van de tijd stijgende lichaamsbesmetting. Vooral de metingen van het ECN geven dit verloop goed weer (zie figuur 7.11.1). In augustus was deze stijging nog

Figuur 7.11.1 Gemiddelde inwendige besmettingen van Nederlandse volwassenen met Cs-134 en Cs-137 van mei t/m augustus 1986. Metingen door de Gezondheidsbeschermingsdienst van het ECN.



Figuur 7.11.2 Gemiddelde inwendige besmetting van Nederlandse volwassenen met Cs-137 vanaf 1965. Metingen door de Gezondheidsbeschermingsdienst van het ECN.



niet beëindigd, de hoogste gevonden waarde was 200 Bq Cs-137. Gezien de biologische verwijdering van cesium wordt het maximum verwacht bij 250-300 Bq per persoon. De metingen van de andere instellingen bevestigen dit verloop.

Een vergelijking met de inwendige besmetting ten gevolge van de bovengrondse kernwapenexplosies in de jaren vijftig en zestig toont dat de huidige Cs-137-besmetting lager is dan destijds. Figuur 7.11.2 geeft de lichaamsbesmetting vanaf 1965 tot heden en laat zien, dat het verwachte maximum eind 1986 ten minste een factor drie lager is dan de besmetting met Cs-137 in 1965.

De hier gerapporteerde lichaamsbesmettingen komen redelijk overeen met lichaamsbelastingen die te berekenen zijn op grond van de besmettingen die voor de dosisberekeningen in 9.1. zijn gebruikt. De gemeten lichaamsbelastingen zijn in het algemeen lager dan die afgeleid uit de daar gebruikte besmettingen. De na enkele jaren geschatte evenwichtssituatie voor Cs-137 bedraagt in beide gevallen ongeveer 250 Bq, corresponderend met een effectief dosisequivalent van ongeveer 3  $\mu$ Sv per jaar door ingestie.



## 8. RADIOACTIVITEIT IN GOEDEREN

### 8.1. Filters, vaar-, voer-, en vliegtuigen

Door of onder verantwoordelijkheid van de Kernfysische Dienst (KFD) zijn metingen verricht aan filtermateriaal voor luchtzuiveringsinstallaties, schepen, treinen, vrachtauto's en vliegtuigen. De resultaten zijn per categorie kort samengevat en indien niet anders vermeld hebben ze betrekking op de eerste week na het ongeval.

#### Filterinstallaties

Op 4 mei is in de regio Den Haag uit zeven gebouwen een representatief monster uit de filterinstallatie genomen. Het debiet van de filterinstallaties varieerde van 4000 tot 32000 m<sup>3</sup> per uur. In de tabel zijn de activiteiten van de belangrijkste nucliden en het gamma-exposietempo weergegeven.

Tabel 8.1.1: Overzicht van de meetresultaten van filterinstallaties in gebouwen in Den Haag. Monsters van 4 mei 1986.

	I-131	Cs-137	Stralingsniveau
	Bq	Bq	$\mu\text{R/h}$
Laagste waarde	30000	29000	10
Hoogste waarde	674000	220000	450
Gemiddeld	250000	126000	140

Bij de gegeven stralingsniveaus moet worden vermeld dat deze vrijwel tegen het filter aan zijn gemeten.

Door de Röntgen Technische Dienst te Rotterdam zijn van eind mei tot en met begin juli voor verschillende opdrachtgevers ook nog enkele filters gemeten. De belangrijkste nucliden waren hier Ru-103, Cs-134 en Cs-137.

Tevens werden metingen verricht aan luchtfilters in o.a. Eindhoven, Hogeveen, Nijmegen en Winsum. Voor de meeste filters kwam het beeld wel overeen met de bovengenoemde cijfers. Door het grote luchtdebiet van sommige installaties kon de activiteit van radioactieve nucliden flink oplopen. Hierdoor kwam de vraag naar voren of na vervanging van de filters

deze zouden moeten worden beschouwd als licht radioactief afval. De Minister van VROM heeft besloten dat deze filters niet als radioactieve stoffen in de zin der wet behoeven te worden beschouwd.

Om een idee te geven van de extra stralingsbelasting zijn enkele berekeningen verricht aan filters uit grote zuiveringsinstallaties. Hieruit blijkt dat het dosistempo, op een afstand van 10 cm, met maximaal enkele  $\mu\text{Sv}$  per uur wordt verhoogd. Bij eventueel vrijkomen van stof uit het filter bij vervanging is een maximale inhalatiedosis van ongeveer 10  $\mu\text{Sv}$  per filter berekend. Bij gebruik van een stofmasker zal er in het geheel niets zijn ingeademd. Deze extra stralingsdosis zal verder alleen kunnen worden verwacht bij grote filters die direct na 2 en 3 mei werden verwisseld.

#### Schepen

De eerste dagen na het ongeval zijn in de diverse havens tientallen schepen die na het ongeval in de risicogebieden hebben verkeerd, onderzocht. Vooral filters, dekmatten, vettige plaatsen, goten, lading en bemanningsverblijven kregen de aandacht. Lading en bemanningsverblijven waren altijd vrij van besmetting en alleen bij filters in de kombuis werd enige verhoging van het stralingsniveau gemeten (500  $\mu\text{R/h}$  op 10 cm afstand). De dekbesmetting bedroeg hooguit  $10^6 \text{ Bq/m}^2$ . Schoonspuiten van het dek loste deze besmettingsproblemen voor het grootste deel op. Op inlaatfilters van dieselmotoren van schepen werd maximaal 2500  $\mu\text{R/h}$  gemeten.

#### Treinen

Metingen aan treinen en dekzeilen afkomstig uit de risicogebieden werden enkele malen op verzoek van werknemers van de spoorwegen verricht. De treinstellen waren niet of nauwelijks besmet. Dit was het gevolg van de ontsmetting die al in de Bondsrepubliek Duitsland plaatsvond. Eén dekzeil uit Roemenië bleek besmet met 17000 Bq/kg aan Cs-137 (RIVM).

### Vrachtauto's

Vrachtwagens die uit Oost-Europa kwamen, werden meestal in de Bondsrepubliek Duitsland al schoongespoten. Tijdens een actie van twee dagen zijn er meer dan 100 vrachtwagens over het gehele land verspreid onderzocht. Op één wagen na, waar 3000  $\mu\text{R/h}$  in een wielkast werd gemeten, bedroeg het stralingsniveau bij luchtfilters, radiatoren en wielkasten minder dan 1000  $\mu\text{R/h}$  vlak bij het onderzochte oppervlak. Bij de Duitse douane bleek dat vrachtwagens uit Oost-Europa een stralingsniveau aan het oppervlak vertoonden van 600-3000  $\mu\text{R/h}$ .

### Vliegtuigen

Op Schiphol zijn tientallen vliegtuigen onderzocht. De besmetting van de romp en vleugels bleef altijd onder de 50000  $\text{Bq/m}^2$ . Slechts bij enkele motoren zijn stralingsniveaus van 2500  $\mu\text{R/h}$  gevonden.

### 8.2 Geïmporteerde non-food produkten

In samenwerking met douane-autoriteiten heeft de RKvW radioactieve oppervlaktebesmetting gemeten van geïmporteerde non-food produkten, te weten: auto's, speelgoed, textiel en vulsel (dons enz.). Uit de resultaten van de metingen is gebleken dat de oppervlaktebesmettingsnormen voor transport van radioactieve stoffen tot op heden niet zijn overschreden. Deze normen zijn de waarden, gegeven door de IAEA, nl. 400  $\text{Bq/m}^2$  voor alfastralers en 4000  $\text{Bq/m}^2$  voor bèta- en gammastralers. In vele gevallen werd in het geheel geen radioactieve besmetting aangetroffen.

Tabel 9.1.1

Effectief dosisequivalent veroorzaakt door de radioactiviteit van het reactorongeval te Tsjernobyl, voor volwassenen en tien- en éénjarige kinderen.

Soort blootstelling		Effectief dosisequivalent ( $\mu\text{Sv}$ )								
		mei t/m juli 1986(fl)			mei 1986 t/m april 1987(ff)			mei 1987 t/m april 1988(ff)		
		Volw.	10-jar.	1-jar.	Volw.	10-jar.	1-jar.	Volw.	10-jar.	1-jar.
Uitwendige- bestraling	lucht	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-	-	-
	bodem	12	12	12	28	28	28	17	17	17
Inhalatie		6	8	8	6	8	8	-	-	-
Ingestie	groenten en fruit	10	17	25	11	18	26	1	1	1
	melk	9	28	83	13	40	112	1	3	8
	vlees	2	2	1	4	4	3	0,5	1	0,5
	overige	-	-	-	0,3	0,5	0,3	0,3	0,4	0,4
Totaal		39	67	129	62	99	177	20	22	27

fl = Op basis van gemeten besmettingen in de voedselketen

ff = Op basis van besmettingen in het voedsel op grond van modelberekeningen.

## 9. STRALINGSBELASTING VAN DE BEVOLKING EN DE GEVOLGEN DAARVAN VOOR DE VOLKSGEZONDHEID

### 9.1 Stralingsdoses ten gevolge van reactorongeluk in Tsjernobyl

Het risico van betrekkelijk lage besmettingen van het milieu met radioactieve stoffen is gelegen in de mate waarin deze besmettingen leiden tot bestraling van de mens. Deze stralingsbelasting of stralingsdosis wordt uitgedrukt m.b.v. de grootheid effectief dosisequivalent, met als eenheid de sievert.

Het effectief dosisequivalent is een maat voor de kans op stochastische effecten (zie 9.2.2.), welke kans evenredig wordt verondersteld met de stralingsdosis. Voor uitwendige bestraling wordt deze dosis afgegeven op het moment van blootstelling. Inhalatie en ingestie van radioactieve stoffen leiden tot inwendige bestraling, die plaats vindt als de in het lichaam opgenomen radionucliden vervallen en hun energie afgeven. Voor deze gevallen wordt de totale stralingsdosis berekend die in het lichaam zal worden afgegeven in de loop van de tijd (50 jaar) na inname, het zogenaamd effectief volgdosisequivalent, dat wordt toegerekend aan het tijdstip van inname van de radioactieve stof. Zoals gebruikelijk zal in dit rapport voor zowel uitwendige als inwendige bestraling over het effectief dosisequivalent worden gesproken.

De stralingsdosis is afhankelijk van vele factoren. Naast de mate van besmetting en de soort radionucliden spelen ook aspecten als leefmilieu en voedselpatroon een rol. De stralingsbelasting is verder o.a. afhankelijk van de leeftijd van de betrokken personen en van specifieke kenmerken van het leefpatroon. In dit rapport wordt een schatting gegeven van de stralingsbelasting van personen in Nederland met een "gemiddeld" leefpatroon, en wel voor drie leeftijdsklassen: volwassenen, 10-jarige en 1-jarige kinderen. Het verschil in stralingsbelasting voor deze drie groepen personen komt vooral tot uiting in de bijdrage door inwendige besmetting door inhalatie en ingestie van radionucliden. De uitwendige bestraling wordt gelijk verondersteld voor iedereen. De stralingsbelasting komt tot stand op diverse manieren. Allereerst was er in mei radioactiviteit in de lucht, die uitwendige bestraling van de mens

veroorzaakte resulterend in een effectief dosisequivalent van ongeveer 0,1  $\mu\text{Sv}$ . (Zie tabel 9.1.1.). De radionucliden in de lucht werden ook ingeademd, hetgeen tijdens de periode waarin de lucht besmet was inwendige besmetting veroorzaakte met een effectief dosisequivalent van 6 à 8  $\mu\text{Sv}$ , afhankelijk van de leeftijd. De grootste bijdrage tot de stralingsbelasting is het gevolg van depositie van radioactieve stoffen op de bodem en op gewassen die op het land stonden. Deze depositie veroorzaakt zowel directe uitwendige bestraling van personen die buiten vertoeven als inwendige besmetting via consumptie van land- en tuinbouwgewassen.

Tabel 9.1.1

Effectief dosisequivalent veroorzaakt door de radioactiviteit van het reactorongeval te Tsjernobyl, voor volwassenen en tien- en éénjarige kinderen.

Soort blootstelling	Effectief dosisequivalent ( $\mu\text{Sv}$ )									
	mei t/m juli 1986(fl)		mei 1986 t/m april 1987(ff)			mei 1987 t/m april 1988(ff)				
	Volw.	10-jar.	1-jar.	Volw.	10-jar.	1-jar.	Volw.	10-jar.	1-jar.	
Uitwendige- bestraling	lucht	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-	-	-
	bodem	12	12	12	28	28	28	17	17	17
Inhalatie		6	8	8	6	8	8	-	-	-
Ingestie	groenten en fruit	10	17	25	11	18	26	1	1	1
	melk	9	28	83	13	40	112	1	3	8
	vlees	2	2	1	4	4	3	0,5	1	0,5
	overige	-	-	-	0,3	0,5	0,3	0,3	0,4	0,4
Totaal		39	67	129	62	99	177	20	22	27

fl = Op basis van gemeten besmettingen in de voedselketen

ff = Op basis van besmettingen in het voedsel op grond van modelberekeningen.

De uitwendige stralingsdosis is berekend uitgaande van de landelijk gemiddelde depositie (zie tabel 6.3.1.) en gebruik makend van conversiefactoren (Ko83), waarmee het effectief dosisequivalenttempo kan worden berekend voor een persoon die op een gebied verblijft met een zekere oppervlaktebesmetting. Een reductiefactor 0,3 is toegepast om rekening te houden met verblijf binnenshuis (waar men minder aan straling wordt blootgesteld) en afscherming door gebouwen en andere obstakels (UN82). Geen

rekening is gehouden met doordringing van de nucliden naar dieper gelegen grondlagen (door ploegen bijv.) of verwijdering door afspoeling in stedelijke gebieden, hetgeen zeker tot vermindering van deze uitwendige bestraling zal leiden. De door het ECN in juni/juli verrichte metingen van het stralingsniveau op enkele plaatsen van Nederland leiden tot waarden van de uitwendige doses, die goed overeenkomen met de hier berekende waarden. Het aldus berekende effectief dosisequivalent t.g.v. uitwendige bestraling vanaf de bodem is over mei 1986 ongeveer 7  $\mu\text{Sv}$  geweest, over juni en juli respectievelijk ongeveer 3 en 2  $\mu\text{Sv}$ .

Na drie maanden is alleen de bijdrage van cesium nog van belang, die over het eerste jaar gemiddeld ongeveer 1,6  $\mu\text{Sv}$  per maand bedraagt en slechts langzaam verder afneemt als gevolg van radioactief verval en verder door het doordringen van de radionucliden in diepere grondlagen.

De bijdrage door ingestie wordt bepaald door besmetting in de voedselketen. In de eerste periode is dit het geval geweest door directe depositie van radionucliden op gewassen op het veld en de consumptie van deze gewassen. Deze bijdrage is vooral van belang geweest in de eerste maanden na het ongeval en de grootte hiervan is vooral bepaald door uit te gaan van gemeten concentraties in voedselprodukten gedurende de maanden mei t/m juli 1986. Na deze periode neemt deze besmetting snel in betekenis af.

In de tweede plaats wordt de voedselketen besmet door transport van radionucliden uit de bodem via de wortels naar de plant. Deze bijdrage is geschat d.m.v. een modelberekening. Aangenomen is dat de voedingsmiddelen in de periode na 1 augustus 1986 alleen op deze wijze worden besmet.

De grootte van de stralingsdosis door ingestie wordt bepaald door de samenstelling van het voedselpakket. Als uitgangspunt is het gemiddeld voedselpakket voor de drie categorieën personen genomen.

De berekeningen tonen aan dat de bijdrage door ingestie vooral wordt bepaald door consumptie van melk en vlees die besmet zijn doordat koeien met radionucliden verontreinigd gras of ander voer hebben gegeten en, gedeeltelijk voor de periode mei tot en met juli 1986, ook van groenten. Over de maanden mei tot en met juli 1986 is het effectief dosisequivalent door ingestie ongeveer 20  $\mu\text{Sv}$  voor volwassenen, 50  $\mu\text{Sv}$  voor 10-jarige kinderen en 110  $\mu\text{Sv}$  voor 1-jarige kinderen.

Voor het eerste jaar na het reactorongeval (mei 1986 tot en met april 1987) wordt het totale effectieve dosisequivalent geschat op ongeveer 60  $\mu\text{Sv}$  voor volwassenen, 100  $\mu\text{Sv}$  voor 10-jarigen en 180  $\mu\text{Sv}$  voor 1-jarigen. Deze

schattingen zijn iets lager dan die in het Tweede Samenvattend Voortgangsrapport van 20 juni (SV86b), toen voor deze doses waarden van resp. 100, 150 en 200  $\mu\text{Sv}$  werden genoemd. De oorzaken van deze verlaging van de oorspronkelijke schatting zijn het gebruik van realistischere waarden voor de consumptie van met name verse groenten in de bewuste maanden en een betere kennis van de gemiddelde besmetting van het voedsel over juni en juli.

Uit fig. 9.1.1. blijkt welke doses volwassenen in de verschillende maanden van 1986 hebben of naar verwachting zullen ontvangen ten gevolge van het reactorongeval en ten gevolge van de radioactieve neerslag uit de jaren vijftig en zestig. In de eerste maanden van 1986 vóór Tsjernobyl werd de dosis alleen veroorzaakt door ingestie van Sr-90 en uitwendige bestraling door Cs-137 in de bodem. In mei, juni en juli zal ca. 60% van de jaardosis ten gevolge van "Tsjernobyl" zijn ontvangen.



Fig. 9.1.1.: Opbouw van de in 1986 door volwassenen in Nederland per maand ontvangen of te ontvangen stralingsdoses (effectief dosisequivalent, H) t.g.v. het kernreactorongeval in Tsjernobyl en t.g.v. de nog van de kernwapenproeven aanwezige radionucliden. Met "kortlevend" worden nucliden met korte halveringstijden (tot één jaar) bedoeld.

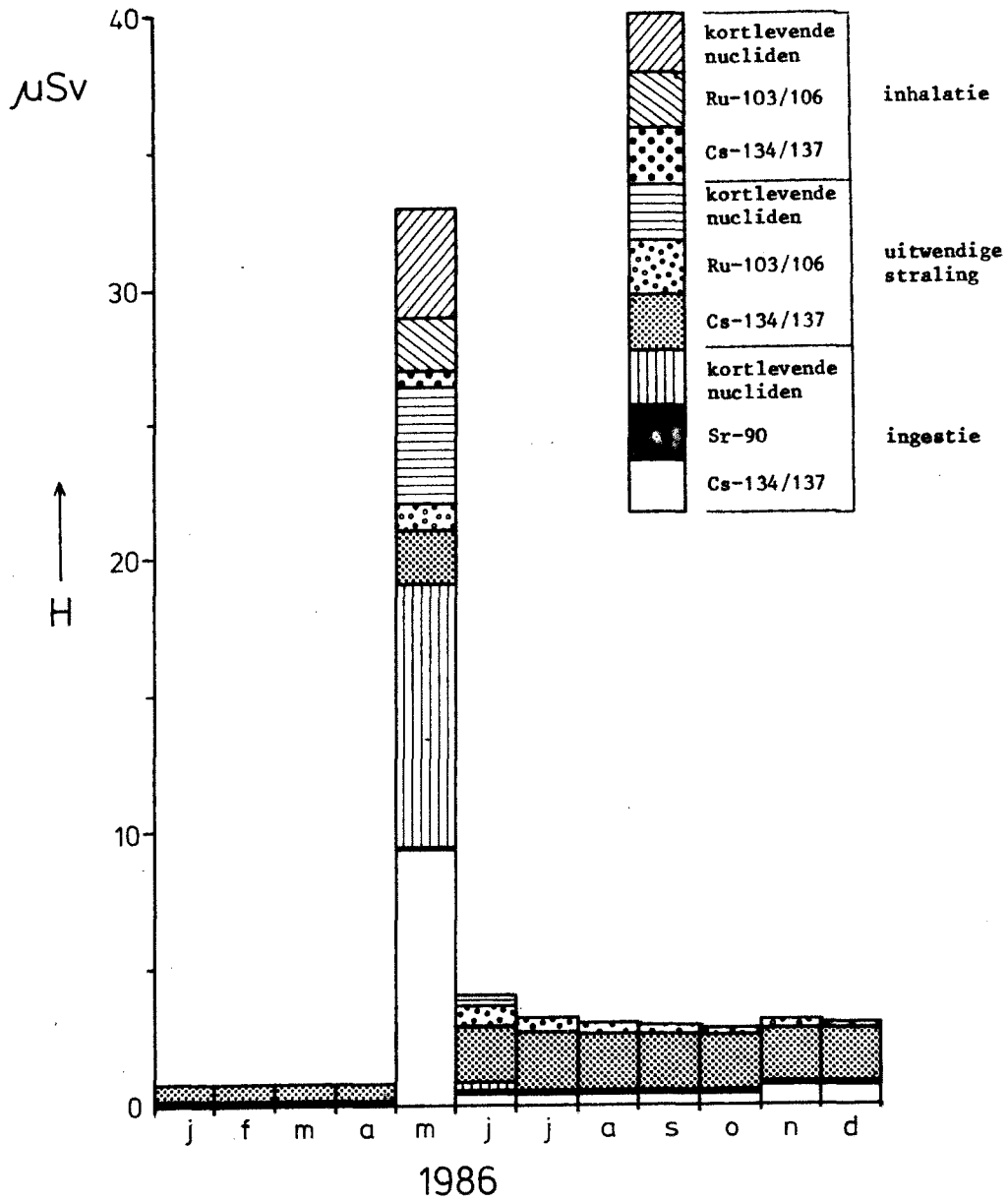
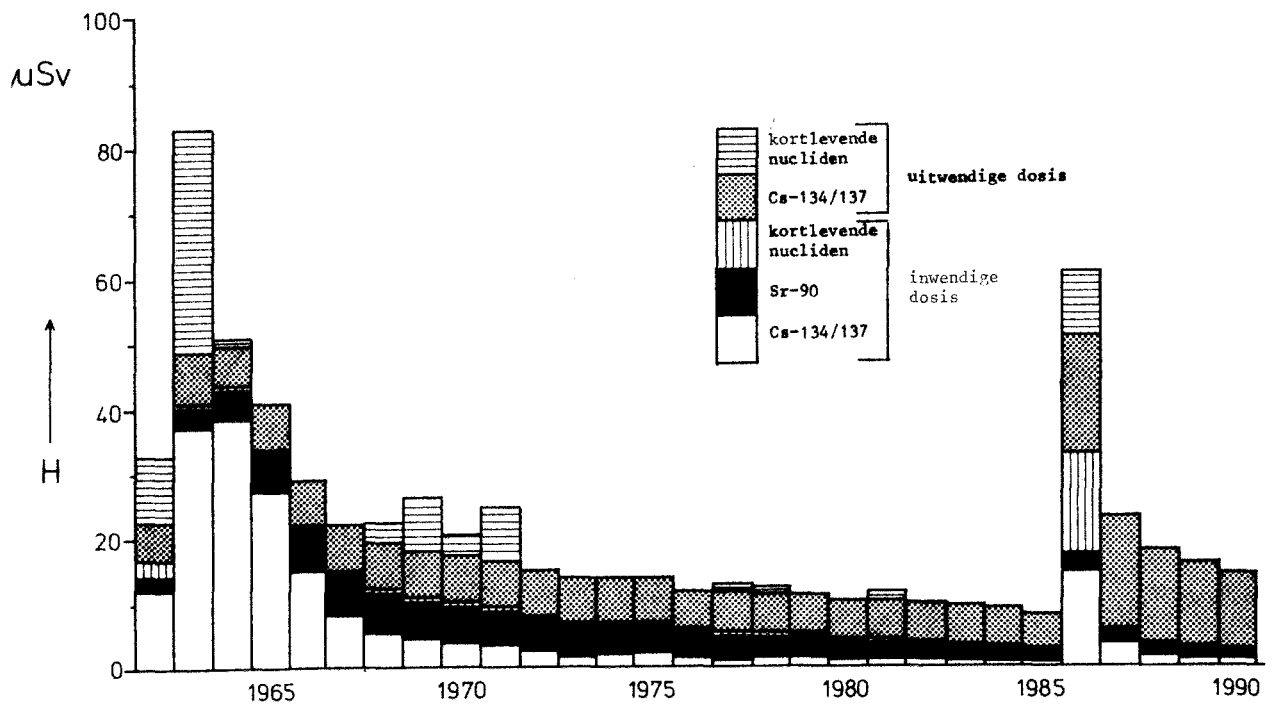


Fig. 9.1.2.: Jaarlijkse stralingsdoses (effectief dosisequivalent, H) die volwassenen in Nederland sinds 1962 jaarlijks hebben ontvangen t.g.v. bovengrondse kernwepnproefnemingen en het reactorongeval in Tsjernobyl en schattingen voor hierdoor te verwachten jaardoses in de komende jaren.



De lichte verhoging van de dosis na oktober wordt veroorzaakt door het voeren van ingekuuld gras, geoogst in mei, aan de koeien, waardoor de melk en het vlees weer wat meer Cs-134 en Cs-137 gaan bevatten. Voor de jaren na 1986 wordt de stralingsbelasting veel lager en wel in de orde van grootte van 20 tot 30  $\mu\text{Sv}$  per jaar (zie fig. 9.1.2.). Na enkele jaren zal Cs-137 de grootste bijdrage aan de uitwendige stralingsdosis leveren en door de lange halveringstijd zal deze bijdrage slechts langzaam afnemen. Door het transport naar diepere grondlagen, o.a. door omploegen van bouwland, kan de uitwendige bestraling echter sneller gaan dalen dan in fig. 9.1.2. is geschetst.

Uit fig. 9.1.2. blijkt ook het effect van de verschillen tussen 1986 en de jaren met verhoogde radioactieve neerslag na de grootschalige bovengrondse kernwapenproefnemingen in de jaren vijftig en zestig (zie 6.2). Toen waren de luchtactiviteitsconcentraties gedurende het gehele jaar verhoogd en werden de gewassen gedurende het hele groeiproces door directe depositie besmet. In 1986 is dit alleen in de begindagen van mei het geval geweest, toen de meeste gewassen òf net boven de grond uitkwamen òf nog niet waren ingezaaid. Besmetting van gewassen via bladopname verloopt in het algemeen veel efficiënter dan besmetting door opname van radionucliden via de wortels uit de grond. Daardoor is de inwendige dosis ten gevolge van Cs-137 in bijv. 1963 en 1964 groter geweest dan voor 1986 wordt verwacht, hoewel de depositie van dit radionuclide in 1963 en 1964 aanzienlijk geringer is geweest dan in mei 1986. Het verschil tussen 1963/1964 en 1986 is nog groter dan uit fig. 9.1.2. kan worden afgelezen, daar in 1986 ook Cs-134 nog heeft bijgedragen tot de inwendige dosis t.g.v. de Cs-isotopen, terwijl bij de kernwapenexplosies geen Cs-134 is gevormd.

## 9.2 Betekenis voor de volksgezondheid

In tabel 9.1.1. is een overzicht gegeven van de berekende stralingsbelasting voor de Nederlandse bevolking. Hierbij dient te worden opgemerkt dat deze schatting is gemaakt voor een gemiddeld leef- en voedingspatroon voor de drie categorieën personen en dat geen rekening is gehouden met invoer van goederen die elders besmet zijn. Overigens zullen er ook voedingsmiddelen of grondstoffen worden ingevoerd uit landen zonder enige besmetting, die het effect van wel besmette invoer kunnen compenseren. Ook is het mogelijk dat er incidenteel vrij ernstige

besmettingen aanwezig zijn in voedingsmiddelen die geen substantieel onderdeel van het voedselpakket vormen, zodat de bijdrage tot de gemiddelde stralingsdosis verwaarloosbaar is. In dit verband kan men denken aan wilde paddestoelen en kruiden waarin gehalten tot 1500 Bq/kg aan Cs-137 zijn gevonden. Bovendien is uitgegaan van een gemiddelde besmetting van het milieu in Nederland, terwijl bijv. de depositie een grote spreiding vertoonde over het land. De berekende waarden zijn dus een indicatie voor de stralingsbelasting van de bevolking ten gevolge van het reactorongeval en er zijn ongetwijfeld individuen en groepen personen met een van het gemiddelde afwijkend leefpatroon, waarvoor de gemiddelde stralingsbelasting lager of hoger zal zijn. De berekeningen tonen aan dat de gemiddelde stralingsbelasting voor volwassenen voor het eerste jaar na mei 1986 60  $\mu$ Sv is met een spreiding van 30 tot 120  $\mu$ Sv en in de orde van grootte van 20  $\mu$ Sv per jaar voor de jaren daarna.

Uit metingen door het ECN van het inwendige besmettingsniveau van personen uit Noord-Holland (zie 7.11.3.) blijkt dat deze inwendige besmettingsniveaus voor Cs-137 (in de orde van grootte van) een factor twee lager zijn dan die welke kunnen worden berekend op grond van de hiervoor vermelde gemiddelde waarden. De berekende doses ten gevolge van inwendige besmetting zijn dus mogelijk aan de hoge kant.

Daar staat tegenover dat de besmettingen in het voedsel na 1 augustus 1986 alleen zijn bepaald met een modelberekening en dat geen rekening is gehouden met de eventuele doorwerking van de directe besmetting van gewassen in mei. Metingen aan rundvlees in september wijzen op hogere waarden voor Cs-137 dan berekend (tot 100 Bq/kg). Omdat nog niet duidelijk is hoe groot de invloed zal zijn van deze hogere concentraties op het gemiddelde en voor welke periode, kon hiermee geen rekening worden gehouden.

De betekenis van deze cijfers over de stralingsdoses kan op twee manieren worden beoordeeld: door vergelijking met de achtergrondstraling en door schatting van de te verwachten effecten.

### 9.2.1. Vergelijking met de natuurlijke achtergrondstraling

Van nature is er straling in het leefmilieu, die van verschillende bronnen afkomstig is. De voornaamste bijdragen zijn afkomstig van kosmische straling en van elementen in de aardkorst en in het menselijk lichaam die van nature radioactief zijn. De grootte van de stralingsbelasting van de bevolking door deze achtergrondstraling varieert van plaats tot plaats. Voor Nederland is het gemiddeld effectief dosisequivalent voor volwassenen ten gevolge van achtergrondstraling 1700  $\mu\text{Sv}$  per jaar met een geschatte spreiding tussen 1550 en 1850  $\mu\text{Sv}$  per jaar.

In het licht van deze achtergrondstraling is de bijdrage ten gevolge van de radioactiviteit van "Tsjernobyl" voor volwassenen in de orde van grootte van 4% in het eerste jaar na mei 1986 en ongeveer 1% in de volgende jaren. De bijdrage ligt ruim binnen de variatie van de natuurlijke achtergrondsdosis in Nederland.

### 9.2.2. Schatting van te verwachten effecten

Het soort effecten waar men rekening mee houdt na blootstelling aan lage doses straling zijn de zogenaamde stochastische effecten, n.l. de verhoogde kans op kanker en op erfelijke afwijkingen in het nageslacht. Andere effecten (meestal orgaanfunctiestoornissen) ten gevolge van straling (de niet-stochastische effecten) treden eerst op bij veel hogere doses, met een drempeldosis van de orde van grootte van 0,5 Sv, en kunnen daarom in dit geval worden uitgesloten.

De stochastische effecten treden ook zonder aanwijsbare oorzaak op ("van nature"). Aangenomen wordt dat de kans op deze effecten evenredig met de stralingsdosis groter wordt. Aantoonbare invloed van straling is echter pas gevonden bij een stralingsbelasting in de grootte orde van 1 Sv en meer. Voor lagere stralingsdoses is de relatie met de dosis niet zeker, maar voor stralingshygiënische doeleinden wordt een lineaire extrapolatie toegepast. Of deze lineaire relatie ook nog geldt voor de stralingsbelasting als gevolg van achtergrondstraling of voor een lichte verhoging daarvan, is onbekend.

Voor schattingen van het extra overlijdensrisico ten gevolge door straling veroorzaakte kanker zijn op basis van de lineaire dosis-effectrelatie

zogenoemde risicofactoren vastgesteld. Een uitvoerige discussie van de risicofactoren voor kankerinductie door straling is gegeven door de Gezondheidsraad (GR85). Deze concludeert dat het extra sterfterisico door kanker ten gevolge van lage doses straling  $(1,3 \text{ à } 2,9) \times 10^{-2}$  per Sv bedraagt, afhankelijk van leeftijd en sexe. De berekende stralingsdosis in het eerste jaar na het reactorgeval van  $60 \mu\text{Sv}$  voor volwassenen,  $100 \mu\text{Sv}$  voor 10-jarigen en  $180 \mu\text{Sv}$  voor 1-jarigen leidt tot een berekend aantal mogelijke sterfgevallen van ongeveer 20 in de toekomst in Nederland. Voor deze berekening is aangenomen dat de Nederlandse bevolking bestaat uit 5,5 miljoen vrouwen (risicofactor  $2,0 \times 10^{-2}$  per Sv), 5,5 miljoen mannen (risicofactor  $1,3 \times 10^{-2}$  per Sv) en 3,5 miljoen kinderen (1-20 jaar) (risicofactor  $2,9 \times 10^{-2}$  per Sv).

Er vindt een verdere verhoging van het extra aantal fatale kankergevallen plaats ten gevolge van bijdragen van stralingsdoses van volgende jaren na 1986. De grootste jaarlijkse verhoging kan als volgt berekend worden. Stel de over de leeftijdsgroepen gewogen jaardoses op  $75 \mu\text{Sv}$  in 1986,  $20 \mu\text{Sv}$  per jaar in de tien daarop volgende jaren en  $10 \mu\text{Sv}$  per jaar in de tien daar weer op volgende jaren. Dan is het totaal gecumuleerde effectief dosisequivalent  $375 \mu\text{Sv}$ , hetgeen leidt tot een berekend maximum aantal sterfgevallen van ongeveer 100 in Nederland.

Men dient te bedenken dat een geïnduceerde kanker pas na enkele jaren (de latentieperiode) tot uiting komt en dat de periode waarin de verhoging van het aantal fatale kankergevallen kan plaatsvinden (risicoperiode) enkele tientallen jaren bedraagt. Voor de latentieperiode neemt men perioden aan van vijf (leukemie en botkanker) tot tien jaren (meeste andere kankersoorten); de risicoperiode is gemiddeld 30 jaar.

De mogelijke sterfgevallen vinden daarom plaats in een periode van ten minste 30 jaren, ofwel tot ongeveer drie per jaar in de periode met maximaal risico (de jaren na 1995).

Dit aantal kan worden vergeleken met de algemene sterfte aan kanker in Nederland. Per jaar bedraagt dit aantal 32 000 personen.

De hier gemaakte schatting van het te verwachten aantal extra kankergevallen is omgeven met onzekerheden, niet alleen t.a.v. de dosisschatting en de risicofactoren, maar vooral ten aanzien van de toepassing van de lineaire dosis-effectrelatie. In wetenschappelijke kringen is deze relatie de meest gebruikelijke voor beschrijving van de risico's bij lage doses ten behoeve van de stralingsbescherming. Sommige

deskundige veronderstellen echter dat de toepassing van de lineaire dosisrelatie bij deze extreem lage doses niet zinvol is, zij denken ofwel dat er geen effect te verwachten is, of juist dat een hoger effect aannemelijk is. In het algemeen gaat men er van uit dat de lineaire dosis-effectrelatie veeleer een over- dan een onderschatting van het risico inhoudt (GR85).

De werkelijke gevolgen van de huidige besmetting zullen wel nooit met zekerheid kunnen worden vastgesteld vanwege het feit dat hoe dan ook het effect te klein is ten opzichte van de natuurlijke sterfte aan kanker om meetbaar te zijn.

Ditzelfde geldt als de inductie van kanker (d.w.z. het door straling doen ontstaan van kankergevallen, zowel de letale als de niet-letale) als maatstaf wordt genomen: zowel voor de door straling veroorzaakte ziektegevallen als voor de "natuurlijke" geldt dat gemiddeld het voorkomen ongeveer een factor twee (voor schildklierkanker een factor twintig) hoger kan worden geschat dan de sterfte. Voor de door "Tsjernobyl" veroorzaakte kankersoorten mag er rekening mee worden gehouden dat een groot gedeelte van de patiënten genezen kan worden (bij schildkliertumoren in Nederland bijv. ongeveer 95%).

Voor de erfelijke afwijkingen kan ook een verhoogde kans berekend worden op basis van een lineaire toename met de dosis. Deze bedraagt, gerekend met een gecumuleerde stralingsdosis van  $375 \mu\text{Sv}$ , een toename van ongeveer 30 gevallen met ernstige afwijkingen per 1 miljoen levend geboren in de eerste twee generaties (GR85) of wel een toename met ongeveer een factor  $3 \times 10^{-5}$ . De natuurlijke kans op dergelijke ernstige afwijkingen in het nageslacht bedraagt ongeveer 6%.

### 9.3 Schattingen van de stralingsbelasting bij verblijf in het buitenland

Het is duidelijk dat bij verblijf in andere Europese landen de daarmee gepaard gaande stralingsbelasting aanzienlijk kan verschillen van die welke in Nederland wordt ondergaan. Om hiervan een schatting te maken is kennis noodzakelijk van de besmettingsniveaus in de diverse landen.

Daarbij kan men uitgaan van de volgende punten.

a) De stralingsbelasting wordt voornamelijk bepaald door jodium en cesium. In mei en juni 1986 is over het algemeen I-131 de bepalende factor, vooral ten gevolge van inwendige besmetting door inhalatie en ingestie, maar daarna wordt door radioactief verval van het I-131, de invloed van Cs-134 en Cs-137 overheersend met als grootste component de uitwendige bestraling vanaf de bodem.

b) Ruwweg is de stralingsbelasting evenredig met de depositie. Er is bovendien een vrij vaste verhouding tussen de diverse typen radioactieve stoffen.

Deze evenredigheid geldt zeker tot niveaus die een factor tien boven het niveau van Nederland uitgaan. Daarboven wordt de invloed van beschermende maatregelen merkbaar en zal de stralingsbelasting naar verhouding minder snel stijgen dan lineair.

c) Er is een zekere nivellering door in- en uitvoer van voedingsmiddelen of veevoer.

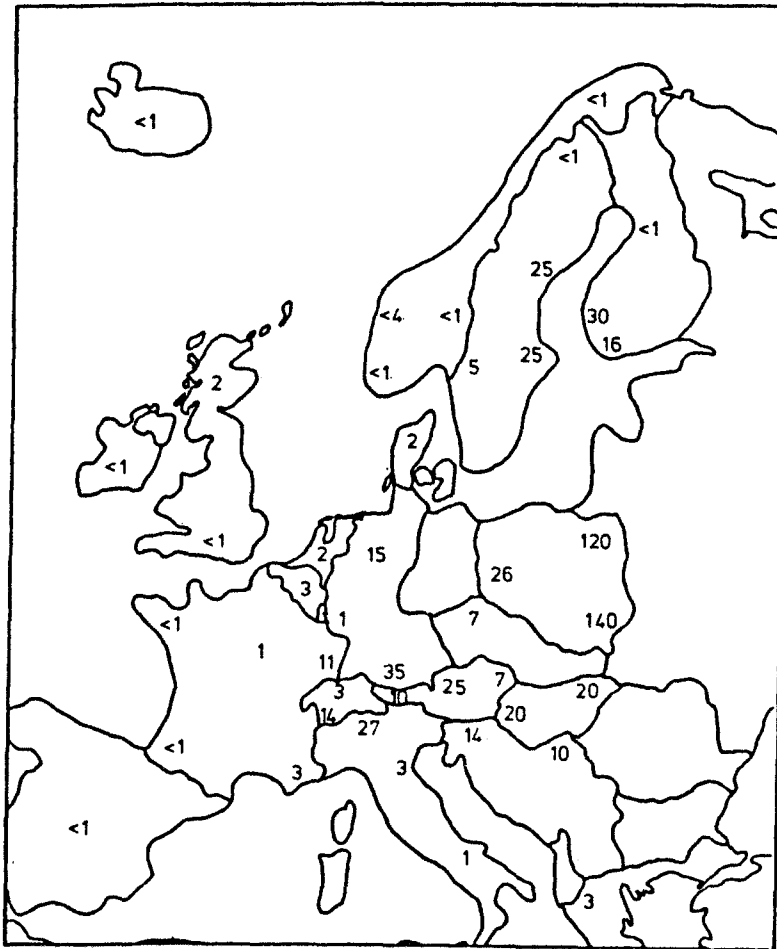
d) De stralingsbelasting door ingestie is afhankelijk van het gebruik en de oorsprong van voedingsmiddelen en het voedselpakket. Hierin kunnen van land tot land grote verschillen bestaan waarvan de invloed moeilijk te bepalen is.

Onderzoek door de RKvW van voedselpakketten uit acht Europese hoofdsteden gaf geen hogere Cs-137-gehalten te zien dan in het Nederlandse voedselpakket.

Met behulp van o.a. depositiegegevens van Cs-137 in Europa en de stralingsniveaus in de verschillende landen (Am86, Eg86, IAEA86b, OECD86, Ru86, WHO86) zijn schattingen gemaakt van de stralingsbelasting bij verblijf in het buitenland. Zo zal verblijf van een maand in juli of daarna in een gebied met een tienmaal zo grote besmetting leiden tot een extra stralingsbelasting die ongeveer 20  $\mu$ Sv hoger zal zijn dan de dosis die men bij een verblijf in Nederland zal ontvangen (zie figuur 9.3.1.)



Figuur 9.3.1: Gemiddeld effectief dosisequivalent ( $\mu\text{Sv}$ ) te verwachten in diverse regio's voor een volwassene gedurende een maand, in de periode juni 1986 tot juni 1987, ten gevolge van "Tsjernobyl". De gemiddelde achtergrondstralingsdosis bedraagt  $170 \mu\text{Sv}$  per maand.



Wat betreft de situatie in Rusland is de toestand dermate ondoorzichtig dat geen poging is gedaan hierover een schatting te maken.

Overigens dient men te beseffen dat ook onder normale omstandigheden verblijf in het buitenland kan leiden tot een hogere stralingsbelasting. Nederland is een gebied met een relatief laag achtergrondstralingsniveau door een lage bijdrage van de kosmische straling (zeeniveau) en door weinig natuurlijk radioactieve elementen in de bodem. Verblijf in de bergen of in gebieden met een hoog gehalte aan natuurlijk radioactieve elementen (bijv. zekere gebieden in Frankrijk) kunnen eveneens leiden tot verhoging van de stralingsbelasting.

10. MEETPROGRAMMA TER BEWAKING VAN DE GEVOLGEN VAN HET  
REACTORONGEVAL VOOR DE NEDERLANDSE BEVOLKING

Teneinde de gevolgen van het reactorongeval beter vast te kunnen stellen is, naast het al jaren bestaande CCRX-Nationale Meetprogramma (tabel 10.1.), een aanvullend meetprogramma opgesteld, dat in het bijzonder gericht is op de langer levende radionucliden zoals Sr-90, Cs-134 en Cs-137. Een overzicht van deze metingen wordt gegeven in tabel 10.2.

Anders dan bij de kernwapenproeven uit de jaren zestig blijkt de depositie in het land verre van homogeen te zijn geweest. Een éénmalig onderzoek van grondmonsters uit verschillende delen van het land kan een goed inzicht geven in de feitelijke depositie van radioactiviteit en de verdeling daarvan over het gehele land. Daarnaast zijn op een aantal punten waar reeds vroeger referentiemetingen zijn verricht, metingen van gammastralingsintensiteit uitgevoerd.

De metingen van de activiteit van luchtstof zijn weer teruggebracht tot die van het normale programma. Het onderzoek naar Sr-89 en Sr-90 in de neerslag zal voorlopig maandelijks plaatsvinden.

Bij het onderzoek van oppervlaktewater zal de aandacht zich richten op radioactiviteit van het zwevend slib, de onderwaterbodem, de uiterwaarden en zoetwatermosselen. Ten aanzien van het gebruik van oppervlaktewater voor de drinkwater bereiding zal een onderzoek worden uitgevoerd naar de mate waarin o.a. ruthenium en cesium worden verwijderd tijdens de zuivering.

Het onderzoek van de "landelijke" melkmonsters door VHI en RIVM zal worden opgevoerd tot een maal per maand. Daarnaast zullen éénmaal in combinatie met het onderzoek van de grondmonsters enkele lokale gras- en melkmonsters worden onderzocht ten behoeve van modelonderzoek.

Metingen aan een grote verscheidenheid aan voedingsmiddelen zullen worden voortgezet, zoals die aan melkpoeder, schapemelk, koeie- en schapevlees, granen, aardappelen, groenten, fruit, vis uit het IJsselmeer en Oosterschelde, mosselen uit de Waddenzee, maar ook aan hooi en kuilgras. Bij deze metingen worden uiteraard de geïmporteerde goederen niet over het hoofd gezien.

Ten behoeve van de Nederlanders die in het buitenland verblijven worden sinds juli éénmaal per maand voedselpakketten afkomstig uit acht buitenlandse hoofdsteden worden onderzocht.

Tabel 10.1 Nationaal meetprogramma van de CCRX op 1 januari 1986.

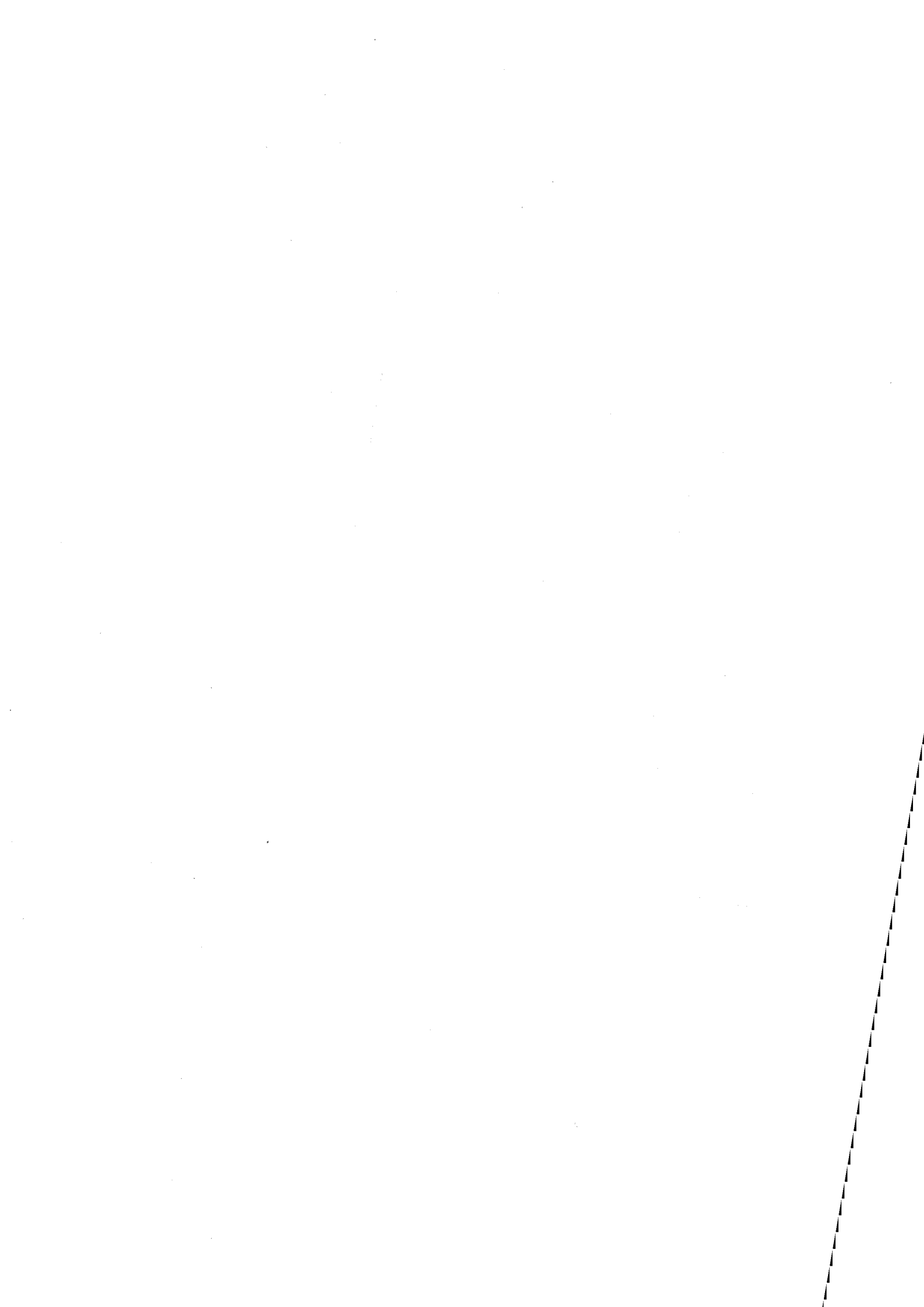
Monster	Plaats van monsterneming	Onderzoek op	Frequentie		Monsterneming door	Onderzoek door
			monsterneming	meting		
Luchtstof (continu bemonsterd)	De Bilt	$\beta$ -totaal $\gamma$ -stralers	1/dag	1/dag 1/week	KNMI	RIVM
	Eelde, Eindhoven, De Kooy, Vlissingen	$\beta$ -totaal	1/dag	naar behoefte	KNMI	RIVM
Depositie (continu bemonsterd)	Bilthoven	Sr-89, Sr-90, Cs-137 e.d.	1/maand	naar behoefte	RIVM	RIVM
		$\beta$ -totaal, H-3, $\gamma$ -stralers	1/week	1/week	RIVM	RIVM
Oppervlaktewater	Rijn bij de grens Maas bij de grens Roer bij de grens	$\alpha$ - en $\beta$ -totaal H-3 Sr-89, Sr-90, Pb-210, Po-210, Ra-226 e.d.	1/week	1/2 weken 1/maand 4/jaar	DEW/RIZA	DEW/RIZA DEW/RIZA RIVM
	Westerschelde	$\alpha$ - en $\beta$ -totaal, H-3 Sr-89, Sr-90, Pb-210, Po-210, Ra-226 e.d.	1/maand	1/maand 1/maand 4/jaar	DEW/RIZA	DEW/RIZA DEW/RIZA RIVM
	IJsselmeer	$\alpha$ - en $\beta$ -totaal, H-3	4/jaar	4/jaar	DEW/RIZA	DEW/RIZA
	Berenplaat/Biesbosch	H-3	4/jaar	4/jaar	DEW/RIZA	DEW/RIZA
	Iek (Hagestein)	H-3	4/jaar	4/jaar	DEW/RIZA	DEW/RIZA
	Noordzee langs de kust (4 meetpunten)	H-3, Sr-90 Cs-134, Cs-137	2/jaar	1/jaar 2/jaar	DEW/RIZA	RIVM
	Melk	Mengsel uit West-Noord- Oost- en Zuid-Nederland 1:1:1:1	Sr-90, Sr-89, Cs-137, I-131	1/maand	1/kwartaal	VHI
Visserijproducten	Nederlandse kustwateren	$\gamma$ -spectrometrisch onderzoek	1/jaar	1/jaar	RIVO	RIVM

Onderzoek ter controle van nucleaire installaties

Melk	In de nabijheid van kernreactoren: Petten, Doel, Mol Dodewaard, Borssele Jülich, Linggen, Kalkar	Sr-90, Sr-89 Cs-137, I-131	3/weide- seizoen	3/weide- seizoen	VHI	RIVM
			(mei, juli, sept.)			
Gras	Petten, Doel, Mol, Dodewaard, Borssele Jülich, Linggen, Kalkar	$\beta$ - en $\gamma$ -rest K-40, Sr-90, Sr-89, $\gamma$ -stralers	2/weide- seizoen	2/weide- seizoen	VHI	RIVM
			(mei, sept.)			

Tabel 10.2 Aanvullend bewakingsprogramma n.a.v. "Tsjernobyl", 2e helft 1986.

Monster	Plaats van monsterneming	Onderzoek op	Frequentie		Monster-neming door	Onderzoek door
			monster-neming	meting		
straling	gehele land	stralings-niveau	éénmaal		ECN	ECN
Depositie	Bilthoven	Sr-89,Sr-90	continu	1/maand	RIVM	RIVM
Zuiveringsslib		Y-stralers	oriënterend onderzoek		DEW/RIZA	RIVM DEW/RIZA
Oppervlaktewater slib, onderwater- bodems, zoetwater- mosselen	Rijn, Maas, Vecht, Dommel, IJsselmeer, Uiterwaarden	Y-stralers	1/maand tot 1/2 maanden		DEW/RIZA	RIVM, DEW/ RIZA
Grond	gehele land, één monster per 20x20 km <sup>2</sup>	Y-stralers	éénmaal		RIVM	RIVM
	Leegkerk, Peize Alkmaar, Nuth Groot-Ammers	Sr-90 Pu in enkele monsters	éénmaal		RIVM	RIVM
Melk	N-, O-, Z- en W-Nederland	Sr-89, Sr-90, Cs-134, Cs-137	1/maand	1/maand	VHI	RIVM
Zuivelproducten Vlees Akker- en tuinbouw- producten Diervoeders Gras, slib	gehele land	Y-stralers	vele malen per week		L en V	IMRV, RIKILT
Visserijproducten	IJsselmeer, Hollands Diep, W.Waddenzee Oosterschelde	Y-stralers	tweemaal		RIVO	RIVM
					RKVW	RKVW
Marktproducten -levensmiddelen -andere producten Voedselpakketten uit 8 buitenlandse hoofdsteden	gehele land	Y-stralers			RKVW	RKVW
			Y-stralers Pu, Sr	1/maand in zwaarst besmette pakketten	1/maand 1/maand	RKVW RKVW
Wild (zoogdieren, trekvoegels)	natuurgebieden	Y-stralers	incidenteel		RIN, L en V	RIVM, IMRV, RIKILT



## 11. TOEKOMSTIGE BEWAKINGSPROGRAMMA'S

### 11.1. Inleiding

Alvorens een voorstel te doen voor het uitvoeren van metingen verband houdende met eventuele toekomstige bewakingsprogramma's, is het nuttig de gang van zaken bij de metingen n.a.v. "Tsjernobyl" te evalueren.

Deze evaluatie is beperkt tot de uitvoering van metingen en interpretatie van de meetresultaten. Bestuurlijke aspecten komen slechts dan aan de orde wanneer zij op metingen en interpretatie daarvan betrekking hebben.

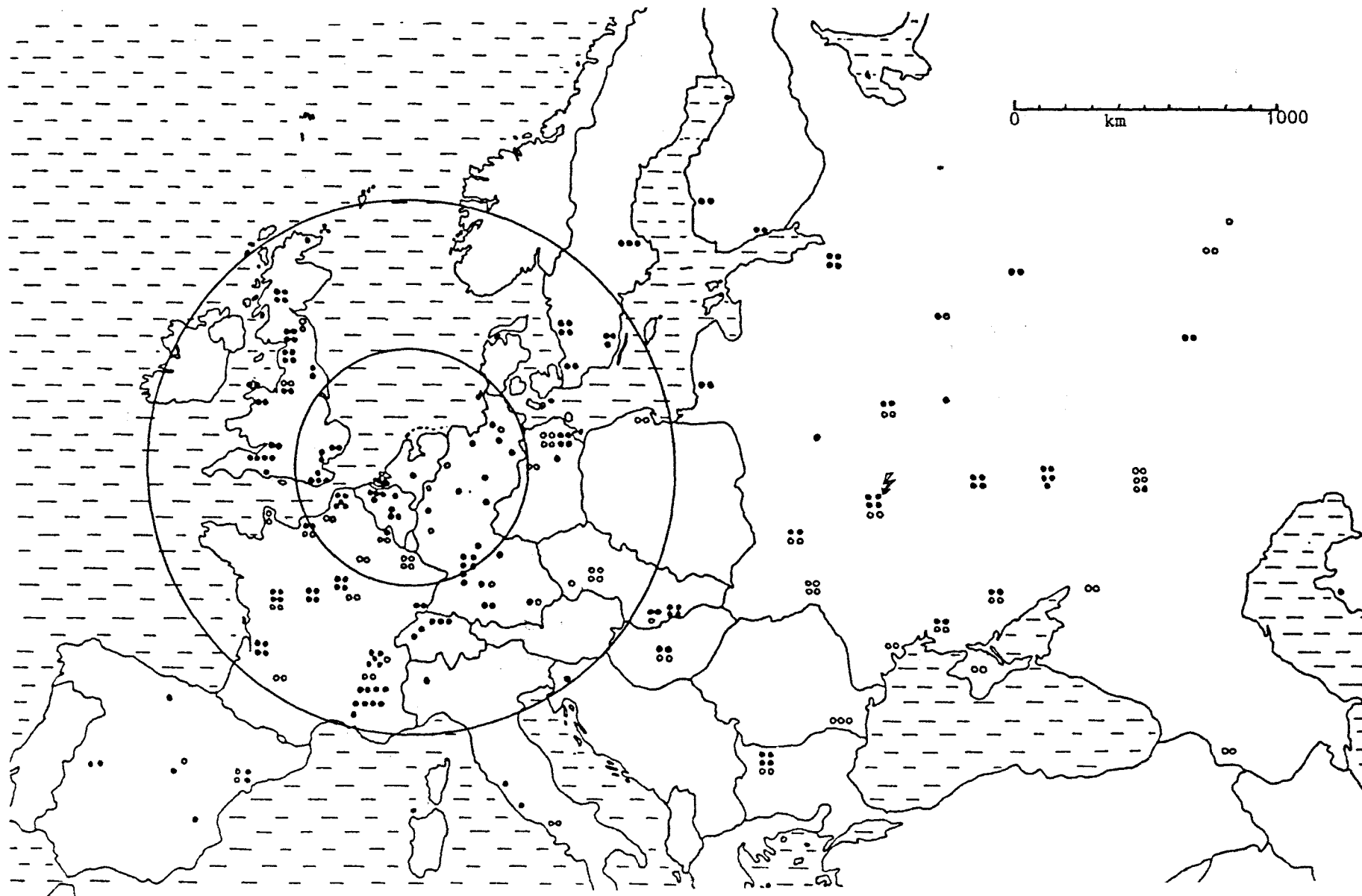
Nederland kent thans een aantal nucleaire alarmregelingen die zijn afgestemd op externe ongelukken met de kernreactoren te Borssele, Dodewaard, Petten, Doel en Mol. Voor de in de Duitse Bondsrepubliek liggende reactoren bij Kalkar en Lingen zijn regelingen in voorbereiding. In al deze regelingen is voorzien in een provinciaal crisiscentrum waar een Technische Commissie (TC) bijeenkomt. Het ongeval te Tsjernobyl heeft ons doen realiseren dat de gevolgen van een wat groter ongeluk met een kerncentrale zoveel complicaties met zich meebrengen dat een Technische Commissie op centraal niveau al snel wenselijk zal zijn. Deze vaststelling wordt mede ingegeven door de overweging dat de kans op een voor Nederland belangrijk ongeluk buiten onze landgrenzen veel groter is dan de kans op een ongeval binnen Nederland. Het geografisch overzicht van de kerncentrales in Europa, gegeven in figuur 11.1.1, spreekt wat dit betreft boekdelen. Binnen een straal van 1000 km wordt Nederland omringd door ongeveer 120 nucleaire installaties, terwijl er 40 in aanbouw zijn. Binnen een straal van 450 km bedragen deze aantallen resp. 38 en 14.

In het licht van deze ervaringen en ontwikkelingen moet het volgende worden gesteld.

- Gebleken is dat de bestaande alarmregelingen niet van toepassing zijn, dan wel bruikbaar zijn op reactorongevallen ver buiten onze landsgrenzen.
- Voor dergelijke ongelukken op afstand is gebleken dat het reageren gekenmerkt wordt door een coördinatie op nationaal niveau.
- Voor wat betreft de huidige alarmregelingen die gekenmerkt worden door een provinciale opzet lijkt het derhalve ook noodzakelijk om de structuur van de aanpak van technische problemen uit te bouwen tot op nationaal niveau.

Fig. 11.1.1 Kernenergiecentrales in Europa. Kaart op schaal 1 : 19 000 000. Aangegeven zijn de gebieden met stralen van 450 en 1000 km om Utrecht.

● = in bedrijf, ○ = in aanbouw.





## 11.2 Paraatheid

Voor ongevallen van het type dat nu heeft plaatsgevonden was geen draaiboek aanwezig en er moest daardoor veel worden geïmproviseerd. Hierbij kon gedeeltelijk gebruik worden gemaakt van de meetfaciliteiten zoals die t.b.v. de diverse alarmregelingen aanwezig waren. Gedeeltelijk is gebruik gemaakt van faciliteiten van andere instellingen die vaak al op eigen initiatief met metingen begonnen waren en die op verzoek van de HIMH hun meetresultaten ter beschikking stelden van de Bestuurlijke Coördinatiegroep. Ondanks de afwezigheid van een draaiboek zijn veel problemen toch in verbluffend korte tijd opgelost. De inzet van vele meetploegen is enorm geweest. Dankzij deze inspanningen heeft het meetsysteem in zijn totaliteit voor deze situatie afdoende gefunctioneerd.

Toch is er ook kritiek te leveren en deze moet met het oog op de toekomst ook worden geleverd. In de volgende paragrafen zal, gedeeltelijk een chronologische volgorde aanhoudend, op een aantal aspecten van de uitgevoerde metingen en de interpretatie daarvan, worden ingegaan. Het accent ligt daarbij op de verbeteringen die kunnen worden aangebracht om de paraatheid op te kunnen voeren.

## 11.3 Metingen van radioactiviteit in de lucht en van stralingsintensiteitsniveaus

In vrijwel alle gevallen vindt een besmetting met radioactiviteit vanuit een kerncentrale plaats via de lucht. De concentratie van radioactiviteit in lucht is echter niet rechtstreeks meetbaar. De lucht moet over een filter worden aangezogen waarbij de radioactiviteit op het filter achter blijft. Luchtaanzuigcapaciteit, filterrendement en type meetapparatuur spelen een rol bij de kwaliteit van de bepalingen. Dit type bepalingen werd vooral uitgevoerd door goed geoutilleerde instellingen met ervaren personeel zoals: ECN, IRI, KCB, KEMA, KUN, KVI, RIVM, TUE en UT. Deze metingen waren daardoor in het algemeen van goede kwaliteit. Toch bleek bijv. de bepaling van de verschillende I-131-componenten (aerosolfractie, organische fractie, elementair jodium) problemen op te leveren. Zowel de KFD- als de RIVM-meetwagen is met een installatie uitgerust om concentraties van radionucliden in lucht te meten. Het is niet gelukt

deze meetwagens het veld in te sturen. Het RIVM beschikte over te weinig reservemankracht om  n metingen met de vaste apparatuur in Bilthoven  n metingen met de meetwagens elders te verrichten. Metingen werden slechts in Bilthoven zelf verricht. De KFD-meetwagen was vrij laat operationeel, metingen zijn alleen bij Zoetermeer uitgevoerd.

Stralingsintensiteitsmetingen zijn directer uit te voeren dan concentratiemetingen in lucht. Er zijn daarom bij diverse instellingen in het land nog vijf meetwagens die met stralingsmeetapparatuur zijn uitgerust, maar niet met luchtconcentratie-meetapparatuur. Van deze wagens bleek er één onmiddellijk paraat te zijn en wel die van de brandweer in Amsterdam.

De stralingsintensiteitsmeetapparatuur in de onderzoekscentra was uitstekend geschikt voor de noodzakelijke metingen. De apparatuur in de meetwagen van de Amsterdamse brandweer was meer afgestemd op hogere stralingsniveaus. Volgens telefonische opgaven was de gevoeligheid van de apparatuur in de andere meetwagens ontoereikend.

Toch kan worden geconcludeerd dat een goed beeld verkregen werd zowel van de concentraties van radioactiviteit in lucht als van de stralingsintensiteitsniveaus. Dit was mede te danken aan:

- het tijdig aanvangen van de metingen
- de uniforme besmetting van de lucht boven Nederland
- het feit dat het ongeluk niet in een vakantieperiode viel

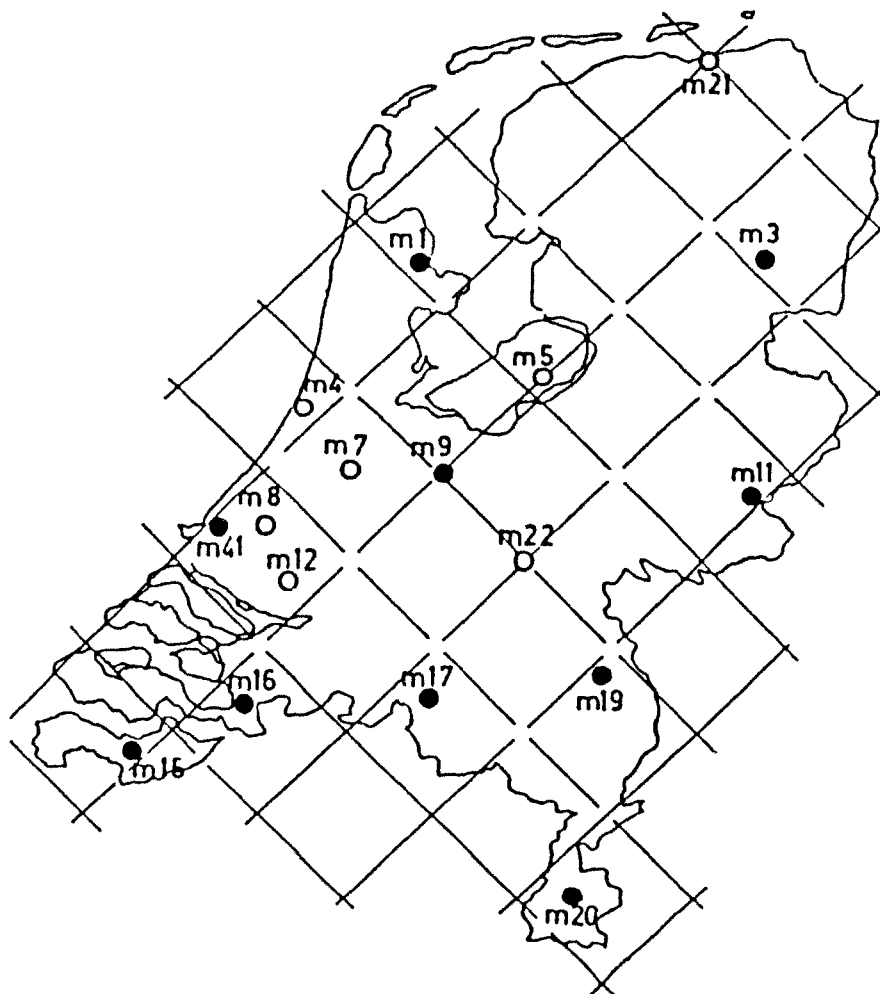
De eerste oorzaak is de belangrijkste. Alleen doordat de medewerkers van de verschillende instellingen via de media waren gewaarschuwd en doordat het ongeval veraf gebeurde, waren ze in staat tijdig met de metingen te beginnen. De routinematig uitgevoerde signaleringsmetingen zijn namelijk niet geautomatiseerd. De ervaring heeft geleerd dat ongelukken met kerncentrales soms laat worden gemeld. Automatisering van de signaleringsmetingen voor radioactiviteit lijkt daarom gewenst. Indien men het Nederlandse grondgebied in zijn geheel wil bewaken is een landelijk systeem noodzakelijk. Het is daarbij voor de hand liggend om aansluiting te zoeken bij het landelijk geïntegreerde milieumeetnet. Figuur 11.3.1. schetst hiervan de configuratie; de zwarte punten geven stations aan die met automatische signaleringsapparatuur voor radioactiviteit zouden kunnen worden uitgerust.

Een automatisch registratiesysteem heeft zijn beperkingen. Het is o.a.

niet goed mogelijk specifieke metingen uit te voeren die noodzakelijk zijn om de aard van een besmetting vast te stellen. Inschakeling van bestaande expertise bij instellingen als ECN, IRI, IRS-RBI, KCB, KUN, KVI, RD/TNO, TUE en UT ter verificatie van een eventueel alarm is daarom gewenst.

De nadruk bij het meetnet ligt op automatische signalering. Het is ongeschikt om de positie, omvang en intensiteit van een eventuele radioactieve wolk vast te stellen. Daarvoor is men aangewezen op meetwagens of vliegtuigen. De paraatheid en inrichting van de bestaande meetwagens zal daarom moeten worden verbeterd. Ook verdient het aanbeveling een vliegtuig in te richten voor het uitvoeren van diverse metingen. De metingen met behulp van vliegtuigen waren succesvol, ze gaven een goede indruk van de situatie in hogere luchtlagen.

Figuur 11.3.1. Stations van het landelijke Meetnet Luchtkwaliteit/ Geïntegreerd Meetnet Milieukwaliteit. De zwarte punten geven mogelijke radioactiviteitssignaleringsstations aan.



#### 11.4 Metingen in oppervlaktewater en drinkwater

In eerste instantie werden vooral de radionuclidenconcentraties van water en zwevend slib van de grote grensoverschrijdende rivieren gemeten. Ook diverse andere oppervlaktewateren werden gecontroleerd.

In het algemeen betreft het hier bestaande meetprogramma's die worden gecoördineerd door DBW/RIZA. Deze meetprogramma's werden sterk geïntensiveerd en uitgebreid; de aanloopmoelijkheden waren gering. Door een reeds bestaande overeenkomst was er een goede afstemming tussen DBW/RIZA en RIVM en waren er wat dit betreft geen lacunes. Het ontbreken van gammaspectrometrie-apparatuur bij DBW/RIZA was een gemis. De afstemming van het depositiemeetnet en het oppervlaktewatermeetnet verdient nadere aandacht.

De metingen van drinkwater leverden weinig problemen op. Via open reservoirs kan drinkwater echter besmet raken. Water afkomstig uit open drinkwaterreservoirs dient daarom na een reactorongeval gammaspectrometrisch te worden onderzocht.

In verband met tijdige waarschuwing bij grensoverschrijdende verontreiniging via bijv. Rijn en Maas, dient tevens een signaleringsmogelijkheid voor de rivieren aan de grens te worden overwogen.

#### 11.5 Metingen in gras, melk, vlees en andere voedingsmiddelen

Al heel spoedig nadat het duidelijk was geworden dat er een ernstige besmetting was opgetreden hebben de reeds eerder genoemde instellingen op beperkte schaal een aantal metingen uitgevoerd aan gras en melk.

Het merendeel van de metingen werd uitgevoerd door het LMRV, de RKvW en het RIVM. Het LMRV, het Landelijk Meetnet Radioactiviteit in Voedsel van het Ministerie van Landbouw en Visserij, daarbij ondersteund door het RIKILT en SBD-Wageningen, kwam al spoedig in actie. De paraatheid van deze dienst verdient alle lof. Dat een reeds jaren bestaand, via een computer gekoppeld netwerk zonder hapering in actie komt is een buitengewone prestatie. Toch waren de moeilijkheden legio. Het systeem was in de eerste plaats ontwikkeld om in de eerste dagen na een nucleaire calamiteit I-131 te meten in melk en vlees. Nu werd er van het systeem

verwacht dat het zowel het I-131 als het Cs-137-gehalte zou meten en niet alleen in melk en vlees, maar ook in gras en groenten. Daardoor ontstonden problemen bij de interpretatie van meetresultaten. Ook werden correcties pas in een later stadium aangebracht. Achteraf kan worden geconstateerd dat verschillen tussen de werkelijke en de opgegeven gemiddelde waarde van de radioactiviteit in melk de eerste dagen na het ongeval tot ongeveer 30% zijn voorgekomen. Onzekerheden van een factor 2 kunnen hier en daar opgetreden zijn. Gezien de gehalten in de melk is het echter onwaarschijnlijk dat er partijen melk met te hoge concentraties aan radioactiviteit op de markt zijn gekomen.

Grote moeilijkheden waren er bij de metingen van het radioactiviteitsgehalte in gras. Het Ministerie van Landbouw vond steeds hogere gehalten dan andere instellingen. Deze verschillen bleken achteraf veroorzaakt te worden door verschillen in wijze van bemonsteren.

De RKvW kampte in de eerste dagen met communicatiemoeilijkheden. Bij het RIVM te Bilthoven was het ontbreken van een automatische gammaspectraalanalysemethode een ernstige tekortkoming. Ook bleek er onvoldoende reservepersoneel te zijn.

Een betere voorbereiding van LMRV, RIVM en RKvW is gewenst. Het RIVM is zowel het LMRV als de RKvW op ad hoc basis bijgesprongen met standaardmonsters en controlemetingen. Het lijkt raadzaam deze samenwerking in de toekomst op een gestructureerde wijze te doen verlopen, bijvoorbeeld door het eenmaal per jaar rondzenden van een veelzijdige assortiment monsters met een gecompliceerd mengsel van radionucliden. Dat bevordert bij de drie instanties tegelijkertijd het bijhouden van hun expertise.

#### 11.6 Verwerking van meetgegevens

Bij de verwerking van de gegevens in het beleidscentrum moest van het begin tot het einde worden geïmproviseerd. De voornaamste hulpmiddelen waren: flipover, viltstift en plakbord. Deze methode voldeed goed, maar er openbaarde zich een aantal moeilijkheden die niet voorzien waren. Voor het ontvangen van de telefonische berichten, het overzichtelijk tabelleren van de meetwaarden en het intekenen ervan op geïmproviseerde kaarten was meer mankracht nodig dan voorzien. Met name de voorgestelde werkwijze van de Technische Commissie zal wat dit punt betreft grondig

moeten worden herzien. Telefoonlijnen waren vaak overbezet; zo was de verbinding van het beleidcentrum met het RIVM alsmede met het LMRV de 2e mei gedurende twee uur verbroken. De telefaxverbinding met het KNMI functioneerde, die met het RIVM niet.

Voor de interpretatie van de gegevens en het maken van prognoses was het uiteraard van groot belang te kunnen beschikken over meetgegevens uit het buitenland, met name vanuit de Bondsrepubliek Duitsland en België. Via de officiële kanalen was deze informatie niet beschikbaar, via zusterinstellingen in het buitenland was het echter mogelijk een goed inzicht te verkrijgen van de situatie aldaar. Ook hier vormde de telefonische overbelasting een probleem. Het is daarom nodig dat de telefoon en telefax verbindingen worden verbeterd. In een aantal gevallen zal dit slechts mogelijk zijn via vrije lijnen.

Voor de interpretatie van gegevens en het opstellen van prognoses was het soms noodzakelijk te beschikken over bepaalde literatuurgegevens. Doordat alle aandacht op de metingen was geconcentreerd was het vaak moeilijk deze literatuur te raadplegen. De medewerkers in de centra waar deze literatuur beschikbaar is, hadden geen tijd voor het opzoeken van de gegevens. Het is daarom wenselijk een informatiecentrum in te richten waar relevante gegevens direct beschikbaar zijn. Hiertoe behoren: verslagen van vorige ongevallen, gegevens voor modellen om prognoses over verwachte besmettingen te kunnen berekenen en omrekenfactoren. Het RIVM is intussen met de oprichting van een dergelijke informatiecentrum begonnen.

#### 11.7 Ondersteuning met behulp van modellen

Bij het beoordelen van de situatie en het maken van prognoses werd een aantal computermodellen gebruikt.

a In de eerste plaats waren dit de meteorologische modellen die op het KNMI worden toegepast. Op basis van de interpretatie van deze modellen door de dienstdoende meteorologen werd op 29 april de verwachting uitgesproken dat de radioactieve stoffen omstreeks het weekeinde van 3 en 4 mei ons land zouden kunnen bereiken, met een onzekerheidsmarge van enkele dagen. Dit beeld bleef gedurende de gehele periode gehandhaafd, waarbij de nauwkeurigheid van de verwachtingen niet kon worden opgevoerd wegens het gebrek aan nauwkeurige gegevens omtrent het

verloop van de lozing. Ook was geen beproefd rekenmodel beschikbaar voor berekening van het transport en van de concentraties van luchtverontreiniging over afstanden die hier in het geding waren.

Op grond van metingen in Beieren in de nacht van 1 op 2 mei en een door het KNMI op 2 mei geconstrueerd trajectorie werd, nadat in de vroege ochtenduren van 2 mei een stijging van de radioactiviteit in de lucht was waargenomen, omstreeks het middaguur door het RIVM en het KNMI de verwachting uitgesproken dat de luchtconcentratieniveaus in de loop van de middag en avond weer zouden dalen. Dat is inderdaad gebeurd.

De besmetting van het bodemoppervlak en de daarmee samenhangende verhoging van het stralingsniveau vond plaats op 2, 3 en 4 mei, vooral door de regenval op 3 en 4 mei. Opgemerkt dient te worden dat de ontwikkeling van de plotselinge buien op de avond van 2 mei niet werd voorzien.

b Het RIVM/KNMI-verspreidingsmodel.

Na het ongeval werden de bestaande RIVM/KNMI-transportmodellen, die waren ontwikkeld voor grootschalige luchtverontreinigingsproblematiek, geschikt gemaakt voor de toepassing op de verspreiding van de Tsjernobyl-emissies. De benodigde windgegevens, afkomstig van het Europees Meteorologisch Centrum in Reading (Engeland) en bewerkt door het KNMI, waren eerst op 7 mei op het RIVM beschikbaar en neerslaggegevens uit Oost-Europa pas op 16 mei. Door gebrek aan betrouwbare meetgegevens kon het model niet op zijn betrouwbaarheid getoetst worden. Het werd voor de onderhavige problematiek toereikend bevonden door een op het RIVM georganiseerde vergadering van een WHO-werkgroep op 25 tot 27 juni in Bilthoven.

Onder verantwoordelijkheid van het RIVM wordt thans een operationeel systeem opgezet waarbij zoveel mogelijk gebruik wordt gemaakt van bestaande modellen en voorzieningen. Dit wordt gerealiseerd in het kader van de bestaande RIVM-KNMI-samenwerking. Daarbij wordt gestreefd naar een optimale benutting van de, met betrekking tot de luchtkwaliteit, bestaande infrastructuur. Belangrijke elementen hierin zijn metingen van luchtkwaliteit (inclusief eventueel radioactiviteit), operationele (real time) verspreidingsmodellen en operationele diagnoses en prognoses van de meteorologische situatie. Het systeem dient in de eerste plaats te voorzien in de snelle berekening van activiteitsconcentraties in lucht en regenwater (deposities) voor

variabele en momentane emissies alsmede variërende weersomstandigheden. Daarnaast zal de resulterende stralingsbelasting worden berekend in relatie met bevolkingsdichtheidsgegevens, zodat de resultaten van beschermende maatregelen, evacuatie enz. snel zichtbaar kunnen worden gemaakt. Voorts zal de besmetting van voedsel en milieu worden ingebouwd.

#### 11.8 Landbouwmaatregelen

Het ongeval in de kerncentrale te Tsjernobyl noodzaakt tot een nadere bezinning over internationale en nationale regelingen op het gebied van nucleaire calamiteiten vooral met het oog op te nemen landbouwmaatregelen. Belangrijke onderdelen daarbij zijn tijdige alarmering en passende informatie over emissie- en depositiepatronen van radioactieve stoffen. Hopelijk levert de IAEA n.a.v. Tsjernobyl voor de internationale afspraken het nodige kader. Bij de herziening van de alarmregelingen voor kernreactoren zal het punt "landbouwmaatregelen" een essentieel onderdeel moeten uitmaken. Het Ministerie van Landbouw en Visserij evalueert de organisatorische en meettechnische zaken verband houdend met de optimalisering van het Landelijke Meetnet Radioactiviteit in Voedsel. De samenwerking tussen het LMRV en het RIKILT wordt daarbij bestudeerd, vooral met betrekking tot de inschakeling van de noodzakelijke deskundigheid en kennis, de verzorging van monsterneming, meetinstructies, uitvoering van metingen, verzorging van communicatielijnen en optimalisering van meetapparatuur.

#### 11.9 Aanbevelingen en conclusies

Samenvattend heeft de commissie de volgende aanbevelingen opgesteld. Deze zijn mede gebaseerd op een programma van metingen dat al in gang is gezet en dat tot nu toe een bedrag van ca. f 5 000 000,- aan extra kosten vergde.

1. Het is wenselijk de in de bestaande regionale alarmregelingen genoemde Technische Commissies uit te bouwen tot op landelijk niveau.

De ervaring opgedaan bij het ongeval te Tsjernobyl heeft duidelijk



gemaakt dat een kernreactorongeval al snel van nationaal belang is.

2. Voor ongevallen buiten en binnen Nederland dient een nationaal draaiboek voor de metingen te worden opgesteld waarin aandacht wordt besteed aan:

2.1 De in eerste instantie te alarmeren personen en de wijze waarop dit gebeurt.

2.2 De taakindeling van de meetinstanties t.a.v. uitvoering van metingen, coördinatie van meetgegevens (incl. verzamelen, groeperen, valideren), overleg met buitenlandse meetinstanties, voorlichting over meetresultaten e.d.

2.3 Informatieverstrekking aan de Maatregelen Commissie (coördinatiecentrum).

2.4 Beschikbaarheid van deskundigen die niet direct bij de alarmregelingen betrokken zijn en de wijze waarop deze kunnen worden ingeschakeld.

3. Het bewakingssysteem dient structureel te worden verbeterd door:

3.1 Een automatisch signaleringssysteem voor besmette lucht uit het buitenland dat het Nederlandse grondgebied voldoende dekt.

3.2 Identificatie van gesignaleerde besmettingen mede door te contracteren bestaande laboratoria die met apparatuur voor de meting van lage activiteitsniveaus zijn uitgerust en die over deskundig personeel beschikken.

3.3 Bilaterale overeenkomsten met buurlanden t.a.v. informele informatie-uitwisseling naast de te verbeteren formele structuren.

3.4 Verbetering van de kwaliteit van de meetapparatuur in de meetwagens in de provincies Zeeland, Noord-Brabant, Noord-Holland en Gelderland.

3.5 Verhoging van het aantal meetwagens, uitgerust met apparatuur voor luchtbemonstering en identificatie van de radioactiviteit, van twee naar drie.

3.6 Beschikbaar houden van een vliegtuig dat op korte termijn een aantal radioactiviteitsmetingen uit kan voeren. (In tegenstelling met auto's is een vliegtuig inzetbaar boven de Noordzee en in de hogere luchtlagen).

3.7 Uitbreiding van computerondersteuning voor gegevensverwerking en

voor het geven van snelle prognoses en overzichten.

3.8 Opvoeren van het aantal deskundigen bij de instanties die bij het bewakingssysteem betrokken zijn. Bij de rijksdiensten betekent dit een opvoering van het aantal van ongeveer tien op het onderhavige gebied deskundige academici tot 20.

Naar schatting zullen voor het structureel verbeteren van het bewakingssysteem verschuivingen, dan wel aanvullingen nodig zijn, waarvan de kosten ongeveer f 3 000 000,= zullen bedragen. Voor de aanschaffing van nieuwe meetapparatuur zal naar schatting een éénmalig bedrag van f 5 000 000,= noodzakelijk zijn. Een nauwkeurige raming van de extra kosten is thans nog moeilijk te geven, daar deze sterk afhankelijk zijn van de mogelijkheid reeds aanwezig personeel om te scholen.

Deze indicaties dienen nog in interdepartementaal verband te worden uitgewerkt.

4. Het opvoeren en handhaven van de paraatheid van het bewakingssysteem door:

4.1 Uitvoeren van oefeningen op nationale i.p.v. op regionale schaal.

4.2 Inzetten van het betrokken personeel bij normale onderzoeksprogramma's op verwant gebied, zodat hun vaardigheid bij het bedienen van de apparatuur en hun motivering gehandhaafd blijft.

4.3 Verbeteren van de kwaliteitsbewaking van de meetapparatuur en meetprocedures door inspecties en ringonderzoekingen.

5. Het opvoeren van de effectiviteit van de informatietoelevering door:

5.1 Een duidelijke taakverdeling tussen de betrokken functionarissen ten aanzien van de coördinatie van de uit te voeren meetactiviteiten enerzijds en het deelnemen aan de beraadslagingen in het Beleidscentrum anderzijds.

5.2 Het inrichten van een informatie- en documentatiecentrum ten behoeve van de Technische Commissie met betrekking tot documentatie over eerdere ongevallen, resultaten van experimenten van belang voor beoordeling van meetresultaten en prognoses van verwachte waarden van stralingsbelasting.

6. Een goede afhandeling van de bewakingsprogramma's n.a.v. het

Tsjernobylongeval is noodzakelijk om er zoveel mogelijk lering uit te trekken voor eventuele toekomstige ongevallen. De commissie beveelt daarom aan om eind 1987 een vervolg op dit rapport op te laten stellen, waarin de uitvoering van de aanbevelingen en de uitkomsten van het additionele bewakingsonderzoek worden beoordeeld.



12. LITERATUUR

- Am86 Mededelingen van buitenlandse ambassades in Nederland en van Nederlandse ambassades in het buitenland, 1986.
- Da86 Davids, J.A.G. en Weers, A.W.van: Radioactiviteitsmetingen bij ECN na het Tsjernobyl-reactorongeval. Rapportage t.b.v. de CCRX, Petten, 23 juni 1986. Zie ook: Energiespectrum 86 (6/7) 140-150 (1986).
- Do84 Dongen, R. van, Potma, C.J.M. en Stoute, J.R.D: Natuurlijke achtergrondstraling in Nederland. Deel 1: vrije veld metingen. RIVM-rapport nr. 248108001, SAWORA-project A 1.1., Bilthoven, 21 maart 1984.
- Eg86 Egmond, N.D. van, Wirth, E., Report of a WHO working group on assessment of radiation dose commitment in Europe due to the Chernobyl accident, Bilthoven, June 25-27, 1986.
- Fr81 Frissel, M.J., Jakubick, A.T., Klugt, N.v.d., Pennders, R.M.J., Poelstra, P., Zwemmer, E.T.A.: Modelling of the transport and accumulation of radionuclides of Strontium, Cesium and Plutonium in Soil. Experimental Verification Association Euratom - ITAL, Technical and Preliminary Research Report no. 101, February 1981.
- Ge86 Geosens B.V.: Luchtkwaliteit metingen rond Nederland met vliegtuigen op 2,4,5,6 en 7 mei 1986. Deel I <sup>2</sup> Radioactiviteit. Ontwerp juli 1986.
- Gr64 Grüter, H.: Eine selektive Anreicherung des Spaltprodukts Cs-137 in Pilzen. Naturw. 51, 161-162 (1964).
- GR85 Gezondheidsraad: De wetenschappelijke onderbouwing van het Stralingshygiënisch beleid op basis van de UNSCEAR-77, -82, en BEIR-rapporten, 1985.
- GR86 Gezondheidsraad: Normen voor interventie bij reactorongevallen, 1986.
- IAEA86a IAEA-Bulletin 28 (2), 67 (1986).
- IAEA86b IAEA-telexberichten, 1986.
- Ju85 Julius, H.W. en Dongen, R. van: Stralingsbelasting van de bevolking en stralingsniveaus in het binnenmilieu in Nederland t.g.v. natuurlijke gammabronnen. TNO-rapport RD-E/8504-240, SAWORA-project A1.2, RIVM-rapport nr. 248108002, SAWORA-project A1.1, april 1985.

- Ke84 Ken-ichi Kimura, Accumulation and Retention of Cesium-137 by the Common Goby. Bull Jap.Soc. Scient. Fisheries 50, 481-487 (1984).
- Ko83 Kocher, D.C.: Dose-rate conversion factors for external exposure to photons and electrons. Health Physics 45, 665-686 (1983).
- Kp86 Kops, J.A.M.M.: Stralingsbelasting in Nederland door het reactor-ongeval in Tsjernobyl. NVS-Nieuws 11 (3) 9-15 (1986).
- Le78 Lederer, C.M. and Shirley, V.S.: Table of isotopes, 7th ed., Lawrence Berkeley Laboratory. John Wiley and Sons, New York etc. (1978).
- Le86 Leeuw, F.A.A.M. de, Aalst, R.M. van, Reineck Leyssius, H.J. van, Kesseboom, H., Egmond, N.D. van, Scheele, M.P., Dop, H. van, Ulden, A.P. van: Het Chernobyl ongeval: modelmatige schatting van concentraties en deposities van radioactief materiaal in Europa. Lucht en Omgeving 3 (4) 86-91 (1986).
- OECD86 OECD/NEA Special session of CRPPH/NEA/OECD on the Chernobyl accident, Paris, September 1-2, 1986.
- Ru86 USSR State Committee on the Utilization of Atomic Energy. The accident at the Chernobyl nuclear power plant and its consequences. Information compiled for the IAEA Experts Meeting, 25-29 August 1986, Vienna. Part I. General Material. Draft. August 1986.
- SV86a Eerste Samenvattend Voortgangsrapport Radioactiviteitsmetingen in verband met het nucleaire ongeval te Tsjernobyl. Samengesteld door het RIVM; rapportnr. 248606002, 13 mei 1986, Bilthoven.
- SV86b Tweede Samenvattend Voortgangsrapport Radioactiviteitsmetingen in verband met het nucleaire ongeval te Tsjernobyl. Samengesteld door het RIVM; rapportnr. 248606002, 20 juni 1986, Bilthoven.
- UN82 Ionizing Radiation: Sources and Effects. UNSCEAR, 1982: Report to the General Assembly, with annexes, New York, 1982.
- WHO86 WHO, Updated background information on the nuclear reactor accident in Chernobyl, USSR, Copenhagen, June 12, 1986.
- Wij86 Wijk, A. van der: Bepaling van extra alfa activiteit in de lucht boven Groningen als gevolg van mogelijke Pu uitstoot door de Chernobyl-reacties. Rapport in opdracht van het Ministerie van VROM, KVI, Groningen, 2 juli 1986.

BYLAGEN





BIJLAGE 1.

Samenstelling van de CCRX-commissie "Rapportage radioactiviteitsmetingen  
Tsjernobyl"

J.C. Abrahamse	N.V. PZEM, Postbus 48, 4330 AA MIDDELBURG. Tel. (01180) 25351
Ir. J.F. Bleichrodt	Medisch Biologisch Laboratorium TNO, Postbus 45, 2280 AA RIJSWIJK. Tel. (015) 138777
Ing. J. Bothof	Ministerie van VROM, HIMH Afdeling Toezicht Kernenergi Postbus 450, 2260 MB LEIDSCHENDAM. Tel. (070) 209367
Ir. IJ. Buurma, adm. secretaris	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Postbus 1, 3720 BA BILTHOVEN. Tel. (030) 742322
Drs. J.A.G. Davids	Energieonderzoek Centrum Nederland, Postbus 1, 1755 ZG PETTEN. Tel. (02246) 4949
P.H. Dignum	ITAL, Postbus 48, 6700 AA WAGENINGEN. Tel. (08370) 91275
Dr. M.J. Frissel, vice-voorzitter	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Postbus 1, 3720 BA BILTHOVEN. Tel. (030) 742515
Dr. P. Hagel	RIVO, Postbus 68, 1970 AB IJMUIDEN. Tel. (02550) 31614
Ir. Chr. J. Huyskens	Technische Universiteit Eindhoven, Postbus 513, 5600 MB EINDHOVEN. Tel. (040) 473355
Drs. R. de Jong	Ministerie van WVC, Rijkskeuringsdienst van Waren, Postbus 439, 2260 AK LEIDSCHENDAM. Tel. (070) 209260
Drs. R.J. van Kempen	Ministerie van WVC, Hoofdafdeling Radioactiviteit en Stralingstoepassingen, Postbus 439, 2260 AK LEIDSCHENDAM Tel. (070) 209260)

Dr. Ir. J.A.M.M. Kops      N.V. Kema, Postbus 9035, 6800 ET ARNHEM.  
Tel. (085) 569111

W.N. Lablans              Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut,  
Postbus 201, 3730 AE DE BILT. Tel. (030) 911766

Dr. H.P. Leenhouts      Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne,  
Postbus 1, 3720 BA BILTHOVEN. Tel. (030) 743016

Ir. F.C.M. Mattern      Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne,  
Postbus 1, 3720 BA BILTHOVEN. Tel. (030) 742665

Dr. C.E. Rasmussen      Interuniversitair Reactor Instituut (IRI),  
Mekelweg 15, 2629 JB DELFT. Tel. (015) 789111

Ir. G.S. Roosje          RIKILT, Postbus 230, 6700 AE WAGENINGEN.  
Tel. (08370) 19110

Dr. W.G. de Ruig        RIKILT, Postbus 230, 6700 AE WAGENINGEN.  
Tel. (08370) 19110

Ir. J.F. Stoutjesdijk,  
techn. secretaris      Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne,  
Postbus 1, 3720 BA BILTHOVEN. Tel. (030) 742646

Drs. L.H. Vaas          Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne,  
Postbus 1, 3720 BA BILTHOVEN. Tel. (030) 743089

Dr. R. van Veen        Dienst Binnenwateren/RIZA, Postbus 17,  
8200 AA LELYSTAD. Tel. (03200) 70411

Dr.Ir. B.C.J. Zoeteman,  
voorzitter            Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne,  
Postbus 1, 3720 BA BILTHOVEN. Tel. (030) 743100

Mw. C. Zuur, arts      Ministerie van VROM, Directie Stralenbescherming,  
Postbus 450, 2260 MB LEIDSCHENDAM. Tel. (070) 209367

BIJLAGE 2

Lijst van instellingen die betrokken zijn geweest bij de milieumetingen n.a.v. het Tsjernobylongeval.

AI : Arbeidsinspectie, Voorburg  
AID : Algemene Inspectiedienst, Den Haag  
Regionale Brandweer, Amsterdam  
CBT : Centraal Bureau van de Tuinbouwveilingen in Nederland, Den Haag  
CCRX : Coördinatie Commissie voor de metingen van Radioactiviteit en Xenobiotische Stoffen  
COZ : Centraal Orgaan Zuivelcontrole, Leusden  
DBW/RIZA: Dienst Binnenwateren/Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater, Lelystad  
DS : Directie Stralenbescherming van het Ministerie van VROM  
ECN : Energie-onderzoek Centrum Nederland, Petten  
Geosens BV  
HIL : Hoofdinspectie van de Volksgezondheid voor de Levensmiddelen en de Keuring van Waren (Ministerie van WVC)  
HIMH : Hoofdinspectie van de Volksgezondheid voor de Milieuhygiëne (Ministerie van VROM)  
IF : Laboratorium voor Isotopen Fysica van de RU-Groningen  
IRI : Interuniversitair Reactor Instituut, Delft  
IRS : Interuniversitair Instituut voor Radiopathologie en Stralenbescherming, Leiden  
KCB : Kerncentrale Borssele  
KEMA : N.V. tot Keuring van Elektrotechnische Materialen, Arnhem  
KFD : Kernfysische Dienst, Voorburg  
KNMI : Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, De Bilt  
KUN : Katholieke Universiteit Nijmegen, Universitaire Stralingsbeschermingsdienst  
KVI : Kernfysisch Versneller Instituut, Groningen  
LMRV : Landelijk Meetnet Radioactiviteit in Voedsel  
NVIC : Nationaal Vergiftigingen Informatie Centrum, RIVM, Utrecht  
RBI-TNO : Radiobiologisch Instituut-TNO, Rijswijk  
RD-TNO : Radiologische Dienst TNO, Arnhem

- RIKILT : Rijks-Kwaliteitsinstituut voor Land- en Tuinbouwprodukten,  
Wageningen
- RIVM : Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne,  
Bilthoven
- RIVO : Rijksinstituut voor Visserijonderzoek, IJmuiden
- RKvW : Rijkskeuringsdienst van Waren, Leidschendam
- RTD : Röntgen Technische Dienst B.V., Rotterdam
- RVV : Rijksdienst voor de keuring van Vee en Vlees, Den Haag
- SBD : Stralingsbeschermingsdienst, ITAL, Wageningen
- TUE : Technische Universiteit, Eindhoven, Stralingsbeschermingsdienst
- UT : Technische Universiteit Twente
- VHI : Veterinaire Hoofdinspectie van de Volksgezondheid van het  
Ministerie van WVC
- VKA : Directie Voedings- en Kwaliteitsaangelegenheden van het  
Ministerie van Landbouw en Visserij, Den Haag

BIJLAGE 3

Lijst van werkdocumenten waarvan bij het opstellen van het GCRX-rapport gebruik is gemaakt. (Titels onder voorbehoud).

De verantwoordelijkheid voor de inhoud van de werkdocumenten ligt bij de genoemde auteurs.

- I. The accident at the Chernobyl nuclear power plant and its consequences.  
USSR State Committee on the utilization of atomic energy.  
Information compiled for the IAEA Experts Meeting, 25 - 29 August 1986, Vienna. Part I, General Material. August 1986 (draft).
- II. Transport over Europa van de in Tsjernobyl geloosde radionucliden.  
R.M.van Aalst, F.A.A.M.de Leeuw, RIVM, Bilthoven  
H.van Dop, KNMI, De Bilt
- III. De meteorologische situatie in de "Tsjernobyl-periode"  
R.Ivens, W.N.Lablans en H.R.A. Wessels, KNMI, De Bilt
- IV. De radioactieve besmetting van de lucht in Nederland na het kernreactorongeval in Tsjernobyl.  
J.F. Stoutjesdijk, RIVM, Bilthoven
- V. De radioactieve depositie in Nederland ten gevolge van het kernreactorongeval in Tsjernobyl.  
L.H. Vaas, RIVM, Bilthoven.
- VI. De radioactieve besmetting van de bodem in Nederland ten gevolge van het kernreactorongeval in Tsjernobyl.  
H.W. Köster, RIVM, Bilthoven.
- VII. De verhoging van het exposietempo in Nederland ten gevolge van het kernreactorongeval in Tsjernobyl.  
J.F. Stoutjesdijk, RIVM, Bilthoven.

- VIII. Oppervlaktewater, zwevende stof en zuiveringsslib  
R. van Veen, M.C.M. van Oirschot, E.J.B. Uunk en F.A.N. van Baardwijk,  
DBW/RIZA, Lelystad.
- IX. Maatregelen inzake het kernreactorongeval in Tsjernobyl.  
A. van den Eshof, Ministerie van WVC, Leidschendam.
- X. Metingen van radioactiviteit in de voedselketen in Nederland  
na het kernreactorongeval in Tsjernobyl. Landelijk Meetnet Radioactiviteit  
in Voedsel (LMRV).  
G.S. Roosje (contactpersoon), RIKILT, Wageningen
- XI. Metingen van radioactiviteit in de voedselketen in Nederland  
na het kernreactorongeval in Tsjernobyl. Rijkskeuringsdienst van Waren  
(RKvW).  
R. de Jong, RKvW - WVC, Leidschendam
- XII. Meting van radioactieve besmetting van gras en melk (en enige  
andere voedingsmiddelen) anders dan door LMRV en RKvW.  
W.G. de Ruig (editor), RIKILT, Wageningen
- XIII. Metingen van radioactiviteit in het drinkwater na het kernreactor-  
ongeval in Tsjernobyl.  
F.C.M. Mattern, RIVM, Bilthoven.
- XIV. Metingen van radioactiviteit in geïmporteerd voedsel na het  
reactorongeval in Tsjernobyl.  
R. de Jong, RKvW - WVC, Leidschendam.
- XV. Inwendige radioactieve besmetting van personen ten gevolge van  
het kernreactorongeval in Tsjernobyl.

XV-1 Resultaten van metingen van inwendige radioactieve besmetting van personen als gevolg van het Tsjernobyl ongeval.

J.G. Ackers, H.W. Julius, C.W. Verhoef, RD-TNO, Arnhem  
J.B.Th. Aten, A.J.M. Gerritsen, IRS, Leiden

XV-2 Inwendige besmetting van personen met Ru-103, I-131, Cs-134 en Cs-137.

A.S. Keverling Buisman, ECN, Petten.

XV-3 Onderzoek naar de belasting met I-131 en Cs-137 van personen, die ten tijde van het ongeval met een kernreactor in Tsjernobyl in de USSR en Polen verbleven.

T.J.F. Savelkoul, S.J. Oldenburg, A.Hoekstra, RIVM, Bilthoven  
B. Sangster, AZU, Utrecht.

XVI. Radioactiviteit in goederen (filters, geïmporteerde "non-food" produkten).

J.G.J. van Winsen, KFD, Voorburg  
R.O. Blaauboer, RIVM, Bilthoven.

XVII. Schatting van de stralingsbelasting van de bevolking ten gevolge van de besmetting van Nederland met radioactieve stoffen na het kernreactorongeval in Tsjernobyl.

H.W. Köster, H.P. Leenhouts, J.F. Stoutjesdijk, RIVM, Bilthoven

XVIII. Schattingen van de stralingsbelasting bij verblijf in het buitenland.  
M.J. Frissel, R.O. Blaauboer, RIVM, Bilthoven.

XIX. Aanvullend meetprogramma ter beoordeling van de gevolgen van het reactorongeval voor de Nederlandse bevolking.

F.C.M. Mattern, RIVM, Bilthoven.

XX. Kernreactoren in Europa.

C.R. ter Kuile en E. van Dijk, RIVM, Bilthoven.





BIJLAGE 4

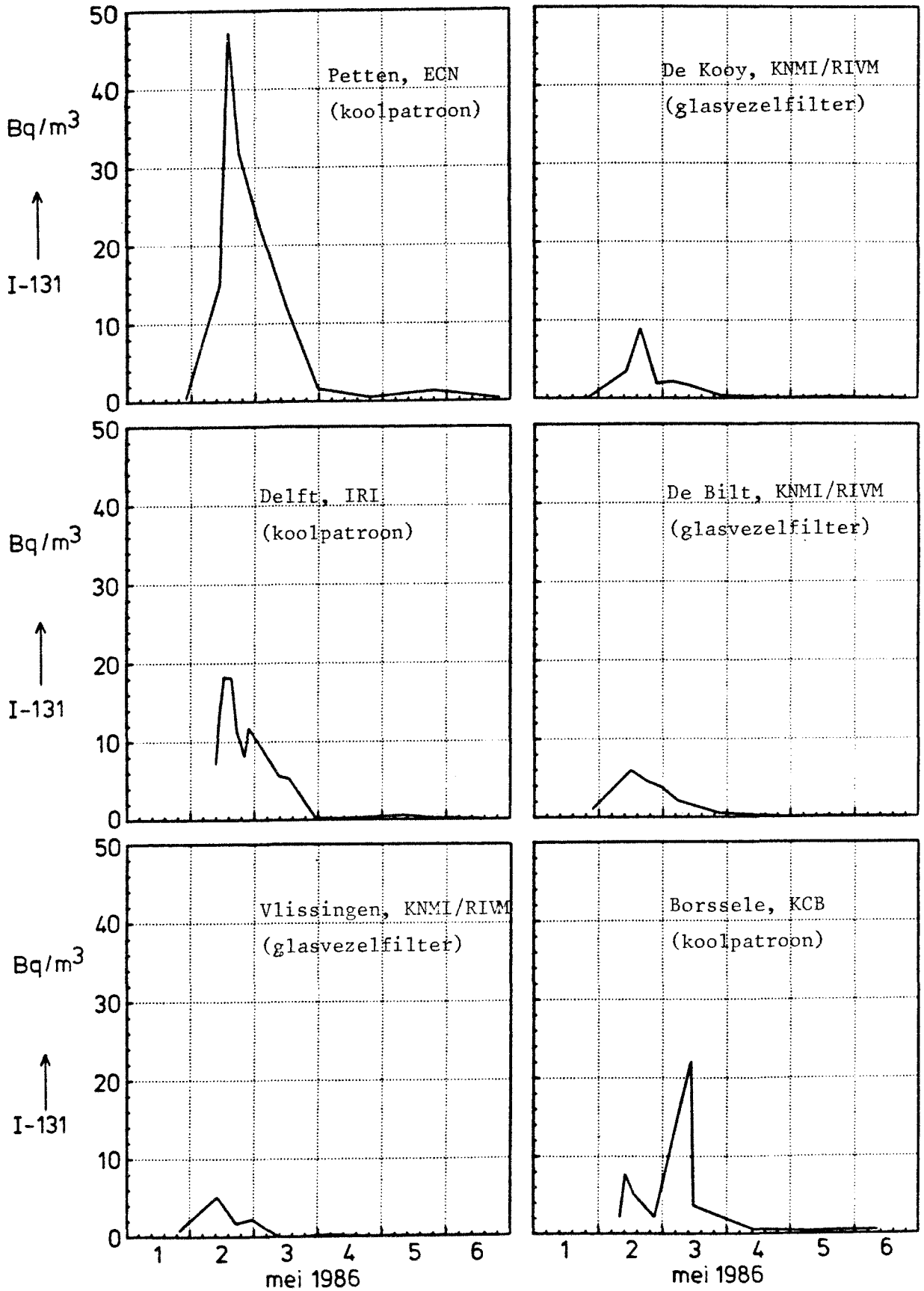
Overzicht van de Nederlandse metingen van I-131 in de lucht in mei 1986.

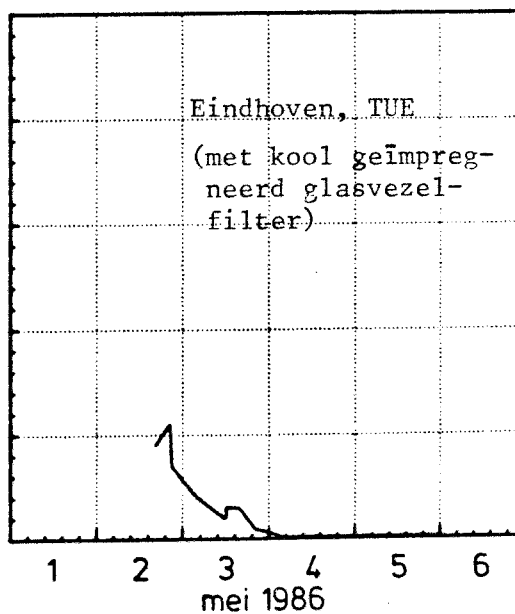
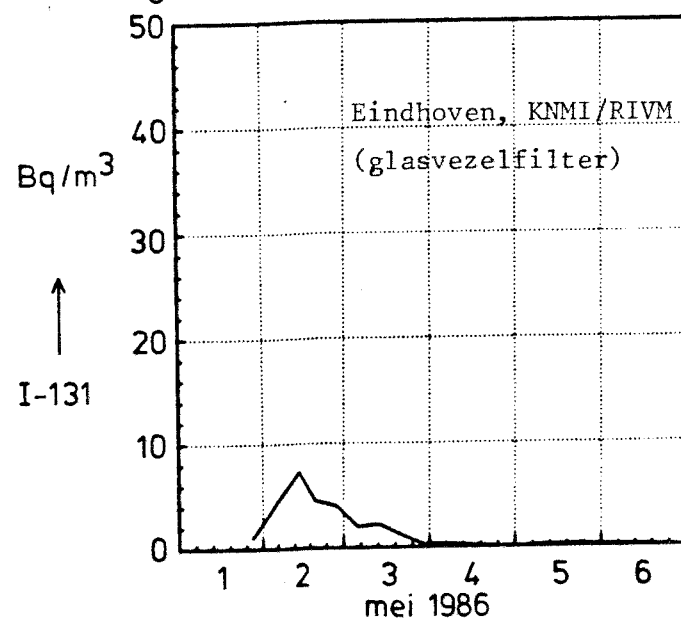
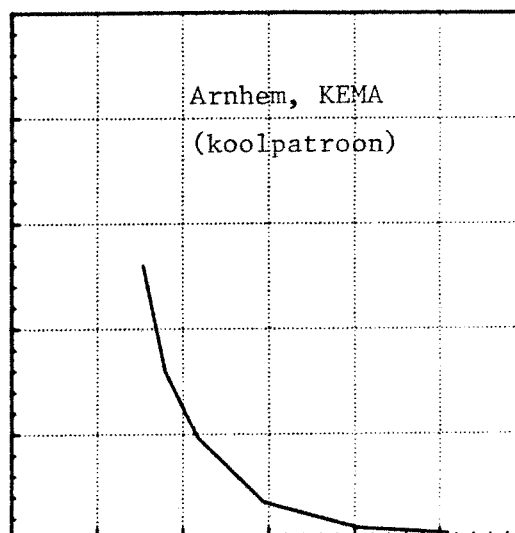
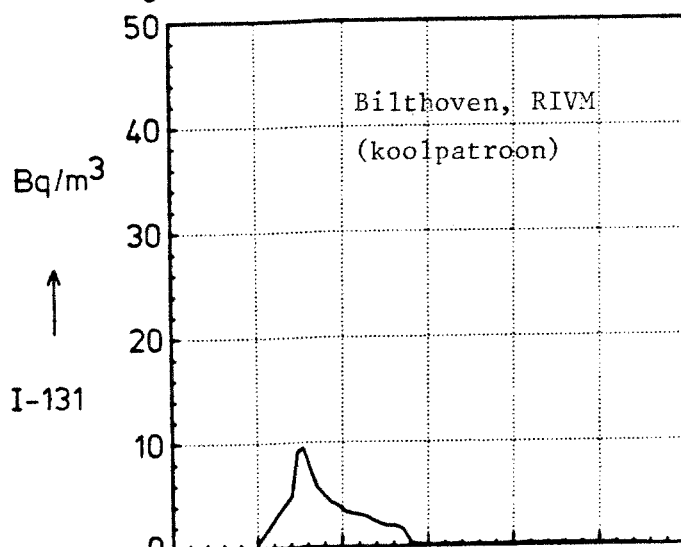
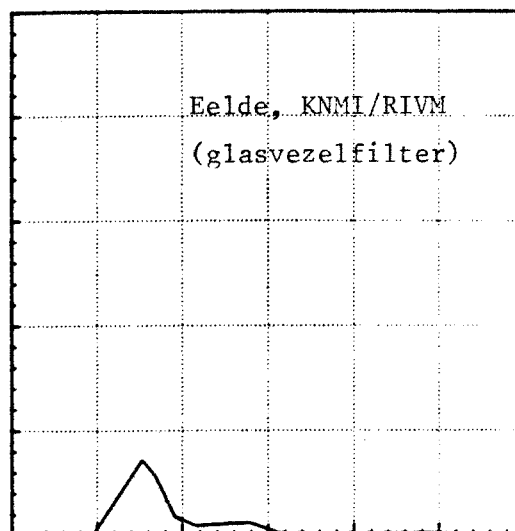
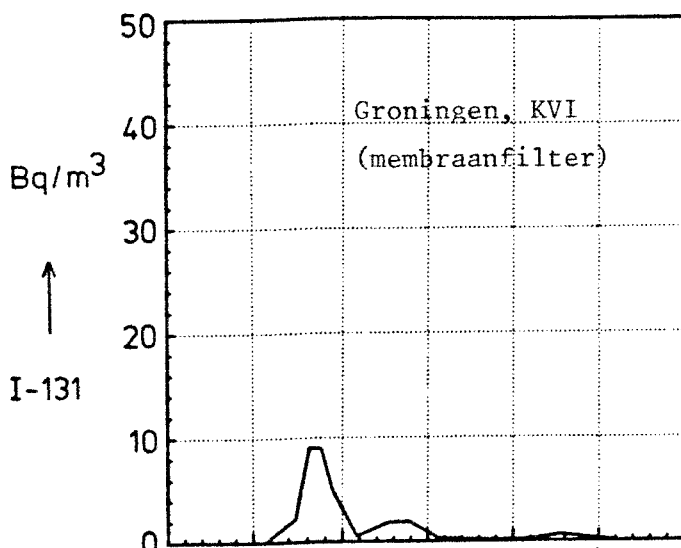
In figuur B4.1 is voor twaalf verschillende plaatsen in Nederland het verloop van de besmetting van de lucht met I-131 weergegeven.

Aangegeven is of met koolpatronen (waarmee ook gasvormig jodium uit de lucht kan worden bepaald), met glasvezelfilters of met nog andere filters is gewerkt.

In tabel B4.1 wordt van elk laboratorium, waarvan voldoende gegevens gedurende de eerste weken van mei 1986 bekend waren, de hoogste gemeten I-131-concentratie van de lucht in  $\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$  vermeld en tevens de over de tijd geïntegreerde concentratie ( $\text{MBq}\cdot\text{s}/\text{m}^3$ ).

fig. B4.1 Metingen van I-131 in de lucht





Tabel B.4.1. Hoogste waargenomen activiteitsconcentraties in lucht ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ) en geïntegreerde concentraties ( $\text{MBq}\cdot\text{s}/\text{m}^3$ )

	Mo-99/Tc-99m		Ru-103		I-131*		Te-132/I-132		Cs-134		Cs-136		Cs-137		Ba-140/La-140	
	Max. conc.	Geïntegr. conc.	Max. conc.	Geïntegr. conc.	Max. conc.	Geïntegr. conc.	Max. conc.	Geïntegr. conc.	Max. conc.	Geïntegr. conc.	Max. conc.	Geïntegr. conc.	Max. conc.	Geïntegr. conc.	Max. conc.	Geïntegr. conc.
Eindhoven (TUE)			4	0,23	11	0,6	13	0,6	2	0,06	0,8	0,03	3	0,16	2	0,06
Eindhoven (KNMI)	1,2	0,05	4,1	0,20	7	0,3	12	0,5	1,4	0,07	0,6	0,03	3,5	0,15	1,2	0,07
Vlissingen (KNMI)	0,8	0,05	3,4	0,18	5	0,3	9,5	0,5	1,3	0,06	0,7	0,03	3,1	0,15	1,2	0,07
Borssele (KCB)	2,8		1,4	0,13	22*	0,9*	14	0,4	1,2				1,5	0,10		
(KEMA)				0,21		1,1*		0,53		0,07				0,17		
Dodewaard (KEMA)				0,20		1,7*				0,05				0,14		
Arnhem (KEMA)					26*	1,8*	13	0,6					3,7	0,21	1,7	0,09
Bilthoven -glasv.	0,8	0,06	4	0,29	8	0,55	10	0,6	1,0	0,09	0,5	0,04	3	0,21	1	0,09
(RIVM) -koolp.					9,5	0,57										
De Bilt (KNMI)	1,0	0,02	2,8	0,34	6	0,5	9,7	0,8	1,0	0,10	0,8	0,04	3,0	0,24	1,5	0,10
Delft (IRI)	1,8	0,10	5,1	0,39	18*	1,1*	20	1,4	3,2	0,15			5	0,31	2,3	0,13
Petten (ECN)	2,2	0,09	5,2	0,34	47*	2,9*	21	1,1	3,3	0,17			4,8	0,33	3,2	0,11
De Kooy (Den Helder)	1,0	0,04	4,5	0,19	9	0,4	15	0,5	1,6	0,06	0,6	0,02	4,0	0,15	2,0	0,07
Eelde (KNMI)	1,1	0,05	3,4	0,17	7	0,3	9,0	0,4	1,2	0,05	0,5	0,02	3,2	0,13	1,2	0,05
Groningen (KVI)	0,8	0,04	3,6	0,19	9	0,42	9,5	0,43					3,1	0,14		
Tussen Rotterdam en Delfzijl (Geosens)			6,6		49*		25		3,3				7			
Gemiddeld	1,4	0,06	4,0	0,23	32*	1,6	14	0,6	1,9	0,08	0,64	0,03	3,7	0,18	1,7	0,08
Standaardafwijking	0,7	0,02	1,3	0,08	15	0,7	5	0,3	0,9	0,04	0,13	0,01	1,3	0,07	0,7	0,02

\* Metingen met koolpatronen.

BIJLAGE 5

In mei en juni 1986 in Nederland gehanteerde richtwaarden en getroffen maatregelen # ter beperking van de stralingsbelasting van de bevolking als gevolg van het reactorongeval te Tsjernobyl.

Tabel B5.1.

Nederlandse richtwaarden en maatregelen	Ingegaan	Opgeheven
* Richtwaarde voor ingrijpen vastgesteld voor I-131-gehalte in melk en verse melkprodukten: 500 Bq per liter of kilogram	3 mei	
* "Graasverbod" Verplichting om melkvee binnen te halen en te houden. Verbod om deze dieren te voederen met te velde staande gewassen of delen daarvan, tenzij deze gewassen of delen te voren grondig met leiding- of grondwater zijn gespoeld	4 mei	8 mei
* Besluit tot inbeslagneming van melk van runderen die niet na 3 mei zijn binnengehaald of met ongespoeld, te velde staande gewassen zijn gevoederd	4 mei	10 mei
* Richtwaarde vastgesteld voor I-131 gehalte in verse bladgroenten: 1300 Bq/kg	6 mei	9 mei
* "Schildklierverbod" Besluit tot vernietiging van schildklieren van geslachte dieren.	6 mei	(30 mei)
Aanpassing van dit besluit: uitsluitend voor runderen van meer dan 250 kg en alle schapen	(30 mei)	22 sept.
* "Spinazieverbod" Verplichting voor de telers om spinazie direct na de oogst naar een veiling te brengen om deze te laten vernietigen.	7 mei	10 mei
Dringend advies aan de consument om geen verse spinazie te eten.	7 mei	10 mei

Vervolg tabel B5.1

Nederlandse richtwaarden en maatregelen	Ingegaan	Opgeheven
* "Schapemelkverbod"	7 mei	30 mei
Verbod om schapemelk te bestemmen voor onmiddellijke consumptie of om daarvan produkten te bereiden die zijn bestemd om binnen vijf weken na de bereiding te worden geconsumeerd (bijv. schapekaas)		
* Richtwaarde vastgesteld voor I-131-gehalten in voedingsmiddelen (zie ook tabel B5.2)		
<u>Melk en verse melkprodukten</u> <u>Verse bladgroenten</u>		
500 Bq/l of kg	1000 Bq/kg	9 mei    23 mei
125 Bq/l of kg	250 Bq/kg	23 mei    **
* Importverbod vers vlees conform instructie EG (Afkondiging) (zie tabel B5.2)	9 mei	31 mei
* Importverbod groot aantal produkten conform instructies EG (Implementatie bij Besluit) (zie tabel B5.2)	15 mei	1 juni
* Maximale concentraties voor de gecumuleerde concentraties Cs-134 en Cs-137 in voedingprodukten (Implementatie in de Warenwet) (zie tabel B5.2)	13 juni	1 okt
** Stilzwijgend afgelopen (niet meer van belang wegens te korte halveringstijd van I-131).		

Tabel B5.2

Maatregelen en aanbevelingen van de Europese Gemeenschappen

Maatregelen van aanbevelingen van de Europese Gemeenschappen	Ingegaan	Opgeheven								
<p>* Aanbevelingen om de volgende maximumtoleranties na te leven voor het in de handel brengen van:</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><u>Melk- en zuivelprodukten</u></td> <td style="width: 50%;"><u>Groenten en fruit</u></td> </tr> <tr> <td>500 Bq/kg</td> <td>350 Bq/kg</td> </tr> </table> <p>met een halvering van deze waarden elke 10 dagen (Deze aanbeveling werd gedaan zonder vermelding van radionucliden. Zij is alleen door de Duitse Bondsrepubliek en Luxemburg overgenomen).</p>	<u>Melk- en zuivelprodukten</u>	<u>Groenten en fruit</u>	500 Bq/kg	350 Bq/kg	6 mei					
<u>Melk- en zuivelprodukten</u>	<u>Groenten en fruit</u>									
500 Bq/kg	350 Bq/kg									
<p>* Compromisvoorstel, ruwweg overgenomen door de meeste lidstaten.</p> <p>De volgende maximumtoleranties voor I-131 na te leven voor het in de handel brengen van:</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><u>Melk- en zuivelprodukten</u></td> <td style="width: 50%;"><u>Verse bladgroenten</u></td> </tr> <tr> <td>500 Bq/l of kg</td> <td>1000 Bq/kg</td> </tr> <tr> <td>250 Bq/l of kg</td> <td>500 Bq/kg</td> </tr> <tr> <td>125 Bq/l of kg</td> <td>250 Bq/kg</td> </tr> </table> <p>Voor de uitgevoerde produkten gelden dezelfde grenswaarden.</p>	<u>Melk- en zuivelprodukten</u>	<u>Verse bladgroenten</u>	500 Bq/l of kg	1000 Bq/kg	250 Bq/l of kg	500 Bq/kg	125 Bq/l of kg	250 Bq/kg		
<u>Melk- en zuivelprodukten</u>	<u>Verse bladgroenten</u>									
500 Bq/l of kg	1000 Bq/kg									
250 Bq/l of kg	500 Bq/kg									
125 Bq/l of kg	250 Bq/kg									
<p>* Instructie tot importverbod voor runderen, varkens en vers vlees uit Bulgarije, Hongarije, Joegoslavië, Polen, Roemenië, Tsjechoslowakije en de Sowjet Unie.</p>	7 mei	1 juni								
<p>* Importverbod voor een groot aantal produkten uit de in de instructie van 7 mei vermelde Oosteuropese landen, o.a.: levende slachtdieren, zoetwatervis, verse melk- en zuivelprodukten, verse groenten en vers fruit</p>	12 mei	1 juni								

Vervolg tabel B5.2

Maatregelen van aanbeveling van de Europese Gemeenschappen	Ingegaan	Opgeheven
* Verordening met maximale toleranties voor de gecumuleerde concentraties aan Cs-134 en Cs-137: 370 Bq/kg of 1 *** voor melk, zuigelingenvoeding, 600 Bq/kg voor alle andere betrokken produkten.	30 mei	1 okt
* Verordening tot verplichte afgifte van certificaten bij slachtdieren, na controle op radioactiviteit	5 juni	
* Aanbeveling omtrent radioactiviteit van gevoelige, resp. minder gevoelige produkten	9 juni	
* Zeer waarschijnlijk verlenging van verordening maximale gecumuleerde concentraties aan Cs-134 en Cs-137. De voetnoot over de gedehydrateerde en geconcentreerde produkten betreft dan waarschijnlijk ook de overige produkten	1 okt	
<hr/>		
** Stilzwijgend afgelopen (niet meer van belang wegens te korte halveringstijd van I-131.		
*** Voor geconcentreerde of gedehydrateerde produkten moet de norm worden ge- baseerd op het produkt gereed voor gebruik.		



BIJLAGE 6

Halveringstijden van voor het kernreactorongeval in Tsjernobyl  
van belang zijnde radionucliden (Le78)

Radionucliden	Halveringstijd	Radionucliden	Halveringstijd
Kr-85	10,7 a	I-133	20,9 h
Kr-85m	4,48 h	Xe-133*	5,25 d
Sr-89	50,5 d	Cs-134	753 d
Sr-90	28,8 a	Cs-136	13,1 d
Zr-95	64,0 d	Cs-137	30,17 a
Nb-95	35,0 d	Ba-140	12,8 d
Mo-99	2,75 d	La-140*	1,7 d
Tc-99m*	6,0 h	Ce-141	32,5 d
Ru-103	39,4 d	Ce-144	284 d
Ru-106	367 d	Np-237	2,1.10 <sup>6</sup> a
Rh-106*	29,8 s	Np-239	2,35 d
Ag-110m	252 d	Pu-239*	24100 a
Sb-125	2,7 a	Pu-238	87,74 a
I-131	8,04 d	Pu-240	6570 a
Te-129m	33,5 d	Pu-241	14,4 a
Te-132	3,25 d	Pu-242	376000 a
I-132*	2,28 h	Cm-242	162,8 d

\* Dochter van het erboven vermelde radionuclide



BIJLAGE 7

Begrippenlijst, symbolen.

7.1 Begrippenlijst

activiteit	Vaak ook gebruikt in de betekenis radioactiviteit.
aerosol	fijne verdeling van een stof in gas, meestal lucht.
alfadeeltje	deeltje, bestaande uit een heliumkern, met groot ioniserend vermogen. Wordt vooral uitgezonden door zware atoomkernen.
alfastraling	straling bestaande uit alfadeeltjes.
becquerel	eenheid van radioactiviteit met symbool Bq: 1 Bq van een radioactieve stof is een dusdanige hoeveelheid dat er per seconde één atoomkern vervalst.
bètadeeltje	door vele radionucliden uitgezonden ioniserend deeltje met de massa van een elektron.
curie	oude eenheid voor hoeveelheid radioactieve stof met symbool Ci: $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$ .
depositie	hoeveelheid radionucliden die uit radioactief besmette lucht per oppervlakte-eenheid op het aardoppervlak worden of zijn afgezet.
dochter (nuclide)	een nuclide dat uit een ander (moeder) nuclide ontstaat door radioactief verval en dat ook radioactief kan zijn.

dosis	vaak gebruikte korte term voor stralingsdosis, dosisequivalent en effectieve dosis.
dosis-effect-relatie	verband tussen de ontvangen dosis en de omvang van het biologisch effect.
dosisequivalent	grootheid (met symbool H, uitgedrukt in Sv), die een maat is voor de biologische werkzaamheid van straling. 1 Sv $\beta$ - of $\gamma$ -straling wordt veroorzaakt bij een energie-afgifte van 1 joule per kg. 1 Sv $\alpha$ -straling wordt al veroorzaakt door een energie-afgifte van 0,05 joule per kg.
exposie	maat voor de hoeveelheid ionisaties teweeggebracht door ioniserende straling per massaeenheid lucht. Eenheid: röntgen (R). Blootstelling aan $\gamma$ -straling met een exposie van 1 R leidt tot een dosisequivalent van ongeveer 0,01 Sv.
exposietempo	exposie per tijdseenheid, eenheid R/h.
gammastraling	elektromagnetische straling met zeer korte golflengten (0,0005 - 0,1 nm), uitgezonden door de meeste radionucliden. De energie van de straling wordt meestal uitgedrukt in keV of MeV. Gammastraling heeft een groot doordringingsvermogen.
halfgeleider-detector	meetinstrument voor het gelijktijdig naast elkaar bepalen van vele soorten gammastraling uitzendende nucliden in één monster.
halveringstijd $T_{1/2}$	tijd waarin een radioactieve stof de helft van zijn activiteit verliest door verval.

ioniserende straling	algemene term voor de straling afkomstig van radioactieve stoffen, berustend op de eigenschap dat deze straling in staat is ionisaties in de bestraalde materie te doen ontstaan.
ingestie	inslikken.
inhalatie	inademen.
inwendige straling	straling uitgezonden door (t.g.v. ingestie of inhalatie) in het lichaam gekomen radionucliden.
isotopen	verschillende vormen van één element die in chemisch opzicht gelijk zijn, maar een verschillende atoommassa hebben.
koolpatroon	filter met actieve kool waarmee gasvormig jodium in de lucht kan worden bepaald.
kortlevend radionuclide	radionuclide met korte halveringstijd.
kosmische straling	uit het heelal afkomstige zeer energierijke straling, die door de atmosfeer wordt verzwakt, maar waaraan de mens desondanks voortdurend is blootgesteld.
langlevend radionuclide	radionuclide met lange halveringstijd.
lineariteitsbeginsel	de veronderstelling dat het biologische effect van ioniserende straling evenredig is met de dosis.
mediaanwaarde	het getal waarbij de helft van de waarnemingen een hogere en de helft een lagere waarde heeft.
natuurlijke	straling van natuurlijke oorsprong, waaraan

straling	de bevolking voortdurend blootstaat, in de vorm van kosmische straling en straling afkomstig van radioactieve stoffen, die van nature voorkomen.
NaI-detector	meetinstrument met een natriumjodide (NaI)-kristal als detector voor de meting van gammastraling.
radioactiviteit	eigenschap van bepaalde nucliden (de zogenaamde radionucliden) om spontaan ioniserende straling ( $\alpha$ , $\beta$ en/of $\gamma$ -straling) uit te zenden. zie ook: Radionuclide.
radionuclide	nuclide dat door radioactief verval in staat is ioniserende straling uit te zenden.
radioactieve neerslag	depositie van radioactieve stoffen; uit de lucht (meestal gebruikt voor de radioactieve neerslag na een kernwapenexplosie (Engels: fallout)).
rem	oude eenheid voor dosisequivalent; 1 rem = 0,01 Sv.
rest-bèta	activiteit van bèta-stralers in een monster, nadat de bijdrage van het kalium, dat van nature 0,012% van het radioactieve K-40 bevat, ervan is afgetrokken.
röntgen	eenheid van exposie, symbool R.
sievert	eenheid van dosisequivalent; symbool Sv.
splijtingsprodukten	nucliden die ontstaan bij splijting van zware atoomkernen.

stochastische effecten	late biologische effecten waarvan de kans op optreden wordt vergroot door bestraling. Voorbeelden: kanker, erfelijke afwijkingen in het nageslacht.
stralingsniveau	zie exposietempo.
TLD	thermoluminescentiedosimeter: een instrument voor het meten van de individuele stralingsdosis.
uitwendige straling	door het lichaam ontvangen straling, afkomstig van stralingsbronnen uit de omgeving.
verval	zie radioactiviteit.
volgdosis	dosis die in het lichaam opgenomen radionucliden, in de loop van de tijd na opname, aan het lichaam afgegeven zullen worden.

## 7.2 Lijst van symbolen voor chemische elementen

Alleen die elementen zijn vermeld waarvan isotopen worden genoemd i.v.m. het ongeval in Tsjernobyl.

Ag	zilver	Pu	plutonium
Ba	barium	Rh	rhodium
Cm	curium	Ru	ruthenium
Cs	cesium	Sb	antimoon
H	waterstof	Sr	strontium
I	jodium	Tc	technetium
Kr	krypton	Te	tellurium
La	lanthanum	U	uranium
Mo	molybdeen	Xe	xenon
Nb	niobium	Zr	zirconium
Np	neptunium		

### 7.3 Symbolen van grootheden en eenheden, van belang voor dit rapport

Bq	becquerel
h	uur
H	dosisequivalent
MW(e)	megawatt elektrisch
R	röntgen
s	seconde
Sv	sievert
X	exposietempo (stralingsniveau)



## E R R A T A

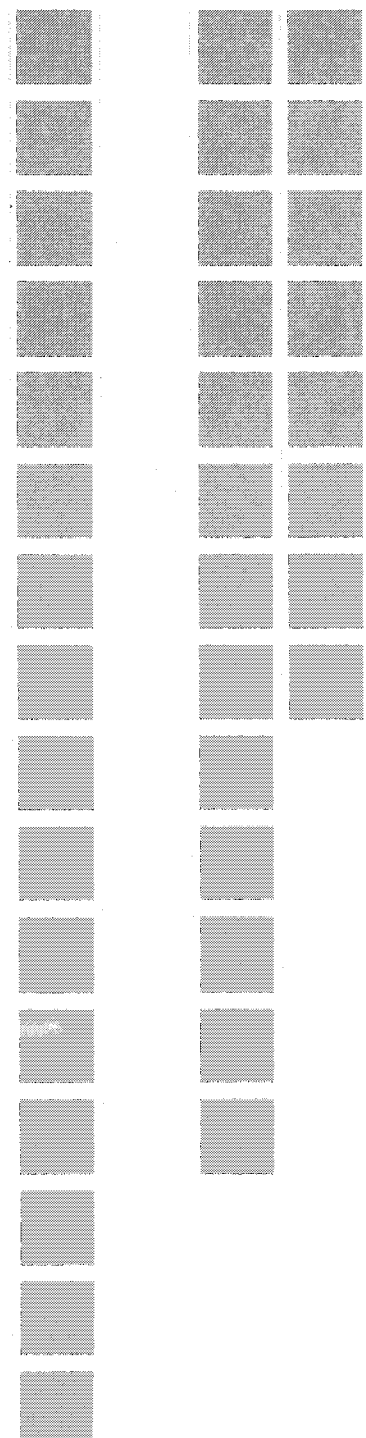
=====

- Blz. 45 : Het opschrift van fig. 6.5.2. dient te luiden:  
"Afname, uitsluitend door radioactief verval van  
de verhoging van het stralingsniveau  $\dot{X}$  (in  
 $\mu$  R/h) boven het normale niveau."
- Blz. 46 : 9e regel van onder: het SAWORA-project is  
gefinancierd door de Ministeries van Volkshuisvesting,  
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer en van  
Economische Zaken.
- Blz. 61 : 12e regel van onder: "100 Bq/kg" moet zijn:  
"1000 Bq/kg".
- Blz. 68 : De 2e alinea van onder beginnend met:  
"de maximale ....." dient te worden gewijzigd in:  
"de maximale I-131 besmetting in de urine bedroeg  
80 Bq/l, voor Cs-137 was het hoogste niveau 5 Bq/l.  
Bij alle onzekerheden in de analyse die aan deze vorm  
van screening kleeft kon als maximale schatting voor  
de schildklierbelasting met I-131 een initiële belas-  
ting van 26.000 Bq worden vastgesteld, corresponderend  
met een equivalent van 800  $\mu$ Sv.  
Voor Cs-137 was de schatting voor het maximaal  
effectief dosisequivalent 1  $\mu$ Sv."









Produktie:  
Ministerie van Volkshuisvesting,  
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.  
Centrale Directie Voorlichting  
en Externe Betrekkingen.  
Van Alkemadelaan 85,  
2597 AC Den Haag.  
VROM 60898/10-86