

# **Bijlage radionucliden-laboratorium**

## **1 Algemene eisen voor een radionucliden-laboratorium**

### **1.1 Inleiding**

Een radionucliden-laboratorium is een laboratorium waarin met radioactieve stoffen mag worden gewerkt. In deze bijlage worden de eisen beschreven die vanuit het oogpunt van stralingsbescherming gelden. Daarnaast gelden de bepalingen uit de Arbeidsomstandighedenwet voor het werken met stoffen in een laboratorium.

Radionucliden-laboratoria worden ingedeeld in de klassen B, C en D (naar volgorde van afnemend risico).

### **1.2 Situering**

Bij brand moet het radionucliden-laboratorium gemakkelijk te bereiken zijn door de brandweer. De kans op radioactieve besmetting van de omgeving ten gevolge van blushandelingen dient zo gering mogelijk te zijn. Wanneer binnen één instelling meer dan één radionucliden-laboratorium aanwezig is, dan verdient het de voorkeur deze ruimtes zoveel mogelijk aaneengesloten te houden, zodat vervoer van radioactiviteit buiten de radiologische ruimtes minimaal is en de toegangsbeveiliging tot één plaats beperkt kan blijven. De transportroute van radioactief materiaal moet bij voorkeur kort zijn, echter zodanig dat de gekozen route het minste gevaar, schade of hinder kan opleveren. Voor het vervoer, zowel intern als extern, moeten werkvoorschriften zijn opgesteld waarin de maatregelen worden beschreven. Overleg met de brandweer over de situering is aan te bevelen.

### **1.3 Benodigde ruimtes**

In een radionucliden-laboratorium vinden in beginsel alleen handelingen plaats met radioactieve stoffen of handelingen die direct daarmee verband houden. Voor het uitvoeren van metingen en voor de bergplaats zullen veelal aparte ruimtes worden ingericht.

De ruimtes waar met radioactieve stoffen wordt gewerkt behoren tot een bewaakte- of gecontroleerde zone. Nabij de toegang tot de zone wordt de beschermende kleding voor de zone opgeborgen. Er moet een regeling zijn die duidelijk en naleefbaar is en die voldoende bescherming garandeert. Bij het wisselen van de speciale kleding moet de mogelijkheid aanwezig zijn om te controleren op radioactieve besmetting. Een radionucliden-laboratorium op D- of C-niveau wordt beschouwd als bewaakte zone. Voor de opslag van de werkkleding kan daarbij worden volstaan met een aparte kapstok. De werkkleding mag niet worden bewaard op plaatsen die vrij toegankelijk zijn.

Een radionucliden-laboratorium op B-niveau wordt beschouwd als gecontroleerde zone en beschikt voor de toegang over een sluis. De sluis wordt verdeeld in een schoon en in een potentieel besmet gebied. Deze verdeling kan worden bereikt door middel van een overstapbank of een visuele aanduiding. In de sluis moeten omkleedfaciliteiten zijn voor jassen en schoenen of slossen en er moet controle kunnen plaatsvinden op radioactieve besmetting met behulp van permanent opgestelde meetapparatuur. Er dienen faciliteiten te zijn om de handen te wassen.

Bij het radionucliden-laboratorium zal ook een werkkast beschikbaar moeten zijn om de schoonmaakbenodigdheden te kunnen opbergen. Deze schoonmaakbenodigdheden mogen alleen worden gebruikt in de ruimtes waar met radioactieve stoffen wordt gewerkt.

In een aantal gevallen zal er behoefte zijn aan één of meer nevenruimtes. Bijvoorbeeld een ruimte ten behoeve van administratieve werkzaamheden of een ruimte waarin de meetapparatuur staat opgesteld. De aanvullende eisen die aan dergelijke ruimtes worden gesteld, beperken zich tot de eis van decontamineerbaarheid, dat wil zeggen dat de vloerbedekking en de wanden uit goed decontamineerbaar materiaal moeten bestaan.

De stralingshygiënische eisen die aan een proefdierruimte worden gesteld, zijn er op gericht de verspreiding van radioactiviteit naar buiten deze ruimte zoveel mogelijk te beperken. Verder moet zo'n ruimte goed decontamineerbaar zijn, doordat bijvoorbeeld alle leidingen zijn weggewerkt. De ventilatie behoort functioneel te zijn, wat betekent dat deze mede afhankelijk is van het soort proefdier dat wordt gebruikt.

Met bergplaats wordt de ruimte bedoeld waar de radioactieve stoffen worden opgeborgen. In de praktijk wordt onderscheid gemaakt tussen de voorraadruimte en de afvalruimte. Wanneer radioactieve stoffen niet worden toegepast, moeten deze zo worden opgeslagen dat de stoffen geen gevaar opleveren voor personen of voor de omgeving. De maatregelen die moeten worden getroffen, betreffen bescherming tegen ioniserende straling, brandbeveiliging en fysieke beveiliging.

De labeling van eiwitten, bijvoorbeeld ten behoeve van radioimmunoassays (RIA), gebeurt in veel gevallen bij relatief lage temperaturen. Daartoe worden deze bewerkingen ofwel aan een koude wand ofwel in een koude kamer uitgevoerd. Aangezien voor dit type experimenten veelal radioactief jodium wordt gebruikt en dit element vrij gemakkelijk luchtbesmettingen kan veroorzaken, moeten bij deze bewerkingen extra voorzorgen in acht worden genomen.

In een aantal gevallen zal een koelvitrine een goed alternatief zijn voor een koude kamer.

Voor werkruimtes waar bereidingshandelingen plaatsvinden met radiofarmaca gelden aanvullende eisen.

#### **1.4 Algemene inrichtingseisen**

De inrichting en het interieur van een ruimte waar handelingen met radioactieve stoffen worden verricht, moeten goed decontamineerbaar zijn. Alleen voorwerpen die voor de handelingen strikt noodzakelijk zijn, mogen aanwezig zijn. Administratieve bescheiden worden zoveel mogelijk buiten de radiologische ruimte bewaard. Archieven en naslagwerken moeten elders zijn opgeslagen. Anderzijds dient schoonmaakmateriaal in het radionucliden-laboratorium te worden opgeslagen, daar dit materiaal alleen in deze ruimte mag worden gebruikt.

Stoelen en krukken moeten goed decontamineerbaar zijn. Voorzover leidingen in de ruimtes zijn toegestaan, moeten deze gemakkelijk kunnen worden gereinigd. Dit geldt ook voor verwarmings-elementen. Verder moet er voldoende ruimte zijn om de radiator heen en tussen de radiator-platen onderling. In ruimtes, uitsluitend bedoeld voor opvangtanks van radioactief besmet afvalwater, behoeft alleen de binnenzijde van de bak waar de tanks in staan, goed decontamineerbaar te zijn.

#### **1.5 Ventilatie**

Het doel van de ventilatie in radiologische ruimtes is tweeledig. Enerzijds moet de werknemer worden beschermd tegen een te hoge concentratie van een radioactieve stof in de lucht, anderzijds wordt door middel van de ventilatie de onderdruk in de betreffende ruimte gehandhaafd ter voorkoming van luchtbesmettingen naar de omliggende ruimtes.

Voor radionucliden-laboratoria geldt:

onderdruk in B-laboratorium > in C-laboratorium > in D-laboratorium.

Bij een B- en C-laboratorium dient van een permanent aanwezige drukverschilmeter de onderdruk te kunnen worden afgelezen, om de goede werking van de ventilatie te kunnen controleren. Het drukverschil tussen een C-laboratorium en een niet-radiologische ruimte moet minimaal 5 Pascal zijn en tussen een B-laboratorium en een niet-radiologische ruimte minimaal 10 Pascal.

Voor het radionucliden-laboratorium moet worden aangetoond dat de ventilatie effectief is voor de hele ruimte. De ventilatievoorzieningen behoren zodanig te zijn dat de luchtstroom van de werknemer is afgekeerd. Belangrijk in dit verband is het stroomprofiel van de lucht. Bovendien moet ingeblazen lucht op temperatuur worden gebracht. Het afzuiggedeelte van het ventilatiesysteem van een B- en

C-laboratorium moet onafhankelijk zijn van het afzuigstelsel, waarop de niet-radiologische ruimtes zijn aangesloten.

De vereiste luchtverversing mag niet door gehele of gedeeltelijke recirculatie van de in de werkruimte aanwezige lucht worden verkregen. In de meeste gevallen zal de afzuiging via de zuurkast(en) plaatsvinden. De afzuigventilatoren moeten zo hoog mogelijk in het gebouw worden opgesteld, om een drukopbouw aan de perszijde van de ventilatoren te voorkomen. Geforceerde toevoer van verse lucht mag alleen mogelijk zijn bij een in werking zijnde afzuiginstallatie. De afgezogen lucht van een radionucliden-laboratorium en van een bergplaats mag niet worden gerecirculeerd.

Een koude kamer zal slechts ten koste van een hoog energieverbruik op het voor een radionuclidenruimte vereiste niveau kunnen worden geventileerd. Indien in een koude kamer wordt gewerkt met vluchtige open radioactieve stoffen dan mag bij ventilatie niet worden gerecirculeerd. Wordt alleen met niet-vluchtige radioactieve stoffen gewerkt, dan kan worden volstaan met recirculatie van de lucht, echter met een continue verversingsgraad van 20%. In dat geval wordt de recirculerende lucht continu door een filter geleid dat in staat is luchtbesmetting voor 99% te absorberen. Het filtersysteem behoort periodiek te worden gecontroleerd.

De afgezogen lucht moet bij een radiologische ruimte op B- en C-niveau zodanig worden geloosd dat deze de luchtkwaliteit in een naburig gebouw niet nadelig kan beïnvloeden. In het algemeen zal dit worden bereikt wanneer de lucht op een hoogte van minimaal 2 meter boven de daknok wordt geloosd.

De ventilatie dient in geval van brand op een punt buiten de radiologische ruimte te kunnen worden uitgeschakeld om het vuur niet aan te wakkeren.

Om het energieverbruik te beperken gedurende de uren dat er niet wordt gewerkt kan de ventilatie teruggebracht worden tot 2 maal per uur. Wel dient dan in het radionucliden-laboratorium de onderdruk gewaarborgd te blijven.

In ruimtes op B- en C-niveau moeten de ramen zijn vergrendeld omdat het openen van een raam het ventilatiepatroon van de ruimte beïnvloedt en ook de onderdruk verdwijnt.

Een ventilatie van een laboratoriumruimte met een luchtverversing van 8 maal per uur wordt tijdens de handelingen als voldoende beschouwd. Voor een nevenruimte kan hiervoor 5 maal per uur worden aangehouden.

### **1.5.1 Zuurkasten**

In laboratoria op B- en C-niveau moet ten minste één goed werkende zuurkast of equivalente laminair air flow kast aanwezig zijn, die geschikt is voor het radiologische werk. Onder een goed werkende zuurkast wordt een zuurkast verstaan waarbij van de stof die vrijkomt in de zuurkast minder dan 1% in de werkruimte komt. Een zuurkast met een kwalificatie volgens DIN-12924, waarin geen opstelling is die de luchtstroom ernstig verstoort, zal in het algemeen aan deze norm voldoen. Aan deze eis wordt voldaan wanneer over de gehele werkopening een naar binnen gerichte continue luchtstroom aanwezig is met een lineaire snelheid van 25 - 50 cm per seconde, die verder onafhankelijk is van de grootte van deze werkopening en wanneer door middel van stromingsschotten in de kast de luchtstroom goed wordt geleid. Deze eisen gelden uiteraard onder de omstandigheden waarin de zuurkast wordt gebruikt (met opstellingen).

Het werkoppervlak van de zuurkast moet kuipvormig zijn, met aan de voorzijde een opstaande rand van circa 2 cm hoogte. De afwerking van de zuurkast dient zodanig te zijn dat de zuurkast glad en goed decontamineerbaar is. De zuurkast moet bestand zijn tegen de inwerking van stoffen die in het laboratorium worden toegepast. Het draagvermogen van de zuurkast moet voldoende zijn om op het werkoppervlak voldoende loodafscherming te kunnen plaatsen. Alle bedieningselementen (gas, elektriciteit, water enzovoort) moeten aan de buitenzijde van de zuurkast zijn aangebracht. Een signalering van het (goed) functioneren van het afzuigmechanisme moet duidelijk zichtbaar aanwezig zijn, zodat gebruikers worden gewaarschuwd wanneer de zuurkast niet goed functioneert.

Bij de installatie van de zuurkast zal door meting moeten worden aangetoond dat de zuurkast goed functioneert en dat ook aan de bovengenoemde criteria wordt voldaan. Periodiek, ten minste eenmaal per 2 jaar of wanneer de situatie in de zuurkast tussentijds ingrijpend wordt gewijzigd, dient dit te worden herhaald. De meetrapporten ten aanzien van de goede werking van de zuurkasten moeten door de verantwoordelijk deskundige bij de administratie over het beheer worden bewaard.

Een biologisch veiligheidskabinet met een kwalificatie volgens NEN-EN 12469 of een laminair air flow kast mag worden gebruikt in plaats van een zuurkast, mits is aangetoond dat minder dan 1% van de stoffen die in die werkkast vrijkomen, in de ruimte komt. Alle handelingen, waarvoor wordt uitgerekend dat ze in een zuurkast moeten plaatsvinden, worden bij het ontbreken van een zuurkast in een biologisch veiligheidskabinet of een laminair air flow kast uitgevoerd. Kasten waarvan de lucht in de werkruimte recirculeert, zijn in een radionucliden-laboratorium niet toegestaan.

### **1.5.2 Laminair air flow kast**

Bij installatie van de laminair air flow kast (LAF-kast) zal door meting moeten worden aangetoond dat de LAF-kast goed functioneert en dat aan de bovenstaande criteria wordt voldaan. Periodiek, ten minste eenmaal per 2 jaar of wanneer de situatie in de LAF-kast tussentijds ingrijpend wordt gewijzigd, dient dit te worden herhaald. De meetrapporten ten aanzien van de goede werking van de LAF-kast moeten door de verantwoordelijk deskundige bij de administratie over het beheer worden bewaard.

### **1.5.3 Plaatselijke afzuiging**

Om blootstelling aan straling door aanwezigheid van radioactieve stoffen in de lucht te minimaliseren, kan het effectief zijn om vrijkomende radioactieve stoffen bij de bron af te zuigen.

Zuurkasten of andere kasten waarvan kan worden aangetoond dat meer dan 1% maar minder dan 10% van de stoffen uit de kast in de werkruimte uitkomt, kunnen in de risicoberekeningen worden behandeld als plaats met lokale afzuiging.

### **1.5.4 Handschoenenkast**

Een zogenoemde handschoenenkast is bij uitstek geschikt ter voorkoming van besmetting door inademing. Ook voorkomt een dergelijke kast besmetting door ingestie. Bij het gebruik van een handschoenenkast is de bediener volledig gescheiden van zijn werk. De handelingen vinden plaats door middel van aan de kast gemonteerde handschoenen.

De kast is goed decontamineerbaar en moet glad en naadloos zijn uitgevoerd. In de kast heerst onderdruk om lekkage van radioactiviteit naar de werkruimte te voorkomen. Deze onderdruk moet via een manometer op de kast kunnen worden afgelezen. De lucht uit de handschoenenkast moet naar de buitenlucht worden afgevoerd. De kast met toebehoren dient bij ingebruikname en verder periodiek, ten minste eenmaal per 2 jaar, op de goede werking te worden gecontroleerd. De beschermingsfactor tegen radioactieve besmetting zal in het algemeen in de orde van grootte van 0,1% zijn. Wanneer dit uit een test ter plaatse is gebleken, mag hiervan worden uitgegaan bij de berekening van de maximaal te hanteren hoeveelheid radioactiviteit.

## **1.6 Water**

De aansluiting op de gemeenschappelijke drinkwaterinstallatie dient zodanig te zijn uitgevoerd dat hierdoor voor de gebruiker of voor derden geen gevaar ontstaat voor in- of uitwendige besmetting met radioactieve stoffen. Zo moeten bijvoorbeeld alle afvoeren van waterverbruikende apparatuur onderbroken op het afvoersysteem worden aangesloten, of er bestaat een gescheiden watersysteem voor laboratoriumgebruik en drinkwatergebruik. Aan laboratoriumkranen mogen geen slangen worden bevestigd waarmee verbindingen met het afvoersysteem kunnen worden gemaakt.

Er dient in een radionucliden-laboratorium gelegenheid te zijn tot het wassen van de handen. In een B-laboratorium moeten de wastafelkranen kunnen worden bediend zonder dat zij met de hand moeten worden aangeraakt. In een C-laboratorium moet ten minste één wastafelkraan op bovengenoemde wijze kunnen worden bediend. In een radionucliden-laboratorium mogen geen waterstraalpompen

worden gebruikt. Bij tappunten moet op deugdelijke wijze worden vermeld, dat het water niet is bestemd voor consumptie.

Zoals ieder chemisch laboratorium zal ook het radionucliden-laboratorium moeten beschikken over een nooddouche. Deze nooddouche mag eveneens worden gebruikt indien een persoon ernstig is besmet met radioactieve stoffen.

### **1.7 Afvoerleidingen**

In de vuilwater-afvoerleidingen van radiologische ruimtes waar met open radioactieve stoffen wordt gewerkt, kan ophoping plaatsvinden van radioactieve stoffen. Bij emissie van grote hoeveelheden radionucliden, die gammastraling uitzenden, kan zelfs risico ontstaan door directe externe straling. Is het dosistempo binnen de locatie langdurig hoger dan 1  $\mu\text{Sv}$  per uur op een meter afstand van de vuilwater-afvoerleiding dan dienen extra afschermingsmaatregelen te worden genomen.

Zonder medeweten van de verantwoordelijk deskundige mag binnen de locatie niet worden gewerkt aan de vuilwater-afvoerleidingen waar radioactieve stoffen op kunnen worden geloosd.

Waarschuwingssignalering dient aan de buitenzijde van deze vuilwater-afvoerleidingen aanwezig te zijn. Deze signalering dient aanwezig te zijn tot aan de aansluiting van deze vuilwater-afvoerleiding op het hoofdriool van de locatie.

### **1.8 Afwerking**

De vloeren in de radiologische ruimtes moeten goed decontamineerbaar zijn, kuipvormig (opgewerkte kanten) en naadloos (afgekittte voegen). Het gebruik van tegels is niet toegestaan, omdat de naden tussen de tegels slecht schoon zijn te maken.

De wanden en de vloer van de werkruimte en de bergplaats moeten van goed decontamineerbaar materiaal zijn gemaakt dat bestand is tegen chemicaliën die worden toegepast. In ruimtes op C- en D-niveau en in de bergplaats moet deze wandbekleding minimaal tot 2 meter boven het vloeroppervlak zijn aangebracht, in ruimtes op B-niveau tot aan het plafond.

Laboratoriumtafels kunnen in een vaste of in een verplaatsbare opstelling zijn uitgevoerd. Wanneer de tafels vast zijn opgesteld, moeten de tafels aan de onderzijde worden voorzien van opstaande holle plinten, die naadloos met de vloerbedekking zijn verbonden. In alle gevallen geldt, dat de tafels geen naden of kieren mogen vertonen en dat de oppervlakken aan de buitenzijde niet-absorberend en gemakkelijk decontamineerbaar moeten zijn. Werkbladen behoren van een dusdanig materiaal te zijn geconstrueerd of met een zodanig harde lak te zijn behandeld, dat zij bestand zijn tegen mechanische invloeden en tegen de stoffen die in het laboratorium worden toegepast.

In ruimtes op B-niveau moeten alle leidingen ten behoeve van elektra, gas, water enzovoort zijn weggewerkt. Leidingdoorvoeren in zowel C- als D-laboratoria behoren glad en naadloos te zijn afgewerkt en zodanig te zijn uitgevoerd dat ze gemakkelijk kunnen worden gereinigd.

### **1.9 Afscherming**

Afscherming dient zo dicht mogelijk bij de bron plaats te vinden. Opstellingen die structureel langdurig staan opgesteld, moeten zo zijn afgeschermd dat op plaatsen waar personen kunnen verblijven het gemiddelde dosistempo minder is dan 0,5  $\mu\text{Sv}$  per uur over één week gerekend. Berekend zal moeten worden of voor de wanden van een ruimte extra afscherming noodzakelijk is. Uitgangspunt daarbij is dat het dosistempo buiten het radionucliden-laboratorium, binnen de locatie, gemiddeld minder moet bedragen dan 0,5  $\mu\text{Sv}$  per uur. Ook dient rekening te worden gehouden met de stralingsbelasting aan de terreingrens.

### **1.10 Brandbeveiliging**

Brandbeveiliging is erop gericht de kans op het ontstaan van brand in het radionucliden-laboratorium en de nevenruimtes tot een minimum te beperken. Preventie-eisen liggen op het organisatorische, het installatietechnische en het bouwkundige vlak.

De brandweer stelt hierbij het volgende: 'De constructieonderdelen van een radionucliden-laboratorium moeten ter beperking van de ontwikkeling van een brand, bepaald overeenkomstig NEN 6065, ten minste behoren tot klasse 4 van de in die norm bedoelde bijdrage tot voortplanting. Een radionucliden-laboratorium is aan te merken als een brandcompartiment. De in NEN 6068 bedoelde weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag tussen een brandcompartiment en een andere besloten ruimte, niet zijnde een toiletruimte of een badruimte die is gelegen in hetzelfde gebouw als waarvan het brandcompartiment deel uitmaakt, moet ter beperking van uitbreiding van brand, bepaald overeenkomstig die norm, ten minste 60 minuten zijn'.

Bij de keuze van blusmiddelen moet de voorkeur worden gegeven aan poederblussers in verband met de geringere verspreiding van radioactieve stoffen bij het gebruik van deze blussers.

### 1.11 Afsluitbaarheid

Ruimtes waar radioactieve stoffen worden toegepast of worden opgeslagen, moeten zijn afgesloten wanneer er niet in wordt gewerkt.

Tabel 1: Enkele belangrijke bouwkundige eisen en inrichtingseisen voor de verschillende categorieën van radionucliden-laboratoria.

VOORZIENING	D-LABORATORIUM	C-LABORATORIUM	B-LABORATORIUM
toegang	personen moeten bekend zijn met risico's, kapstok bij ingang voor laboratoriumjassen, toegangsdeur afsluitbaar	personen moeten bekend zijn met risico's, geen toegang voor onbevoegden, kapstok en besmettingscontrole bij ingang, toegangsdeur afsluitbaar	als het C-laboratorium, bovendien: alleen toegang via de sluis met ruimte om kleding en schoenen te wisselen
ramen	te openen ramen zijn toegestaan	te openen ramen zijn niet toegestaan	te openen ramen zijn niet toegestaan
ruimte-ventilatie	8-voudig	8-voudig	8-voudig
onderdruk	--	minimaal 5 Pa, continu gemeten	minimaal 10 Pa, continu gemeten
toevoer ventilatielucht	gezamenlijk met andere laboratoria	gezamenlijk met andere laboratoria, met terugslagklep	gezamenlijk met andere laboratoria, met terugslagklep
afvoer ventilatielucht	gezamenlijk met andere laboratoria	separaat via lokaal ventilatiesysteem	separaat via lokaal ventilatiesysteem
werkkast om te werken met de maximale hoeveelheid	zuurkast/LAF-kast, <10% uittrede in de werkruimte	zuurkast (DIN-gekeurd) Laminair Flow Isolator (klasse II) <1% uittrede in de werkruimte	zuurkast (DIN-gekeurd) gesloten kast (klasse III)
afwerking	tot 2 m hoogte glad en naadloos uitgevoerd, bij voorkeur leidingen weggewerkt en vloeren voorzien van oplopende holle plinten	tot 2 m hoogte glad en naadloos uitgevoerd, bij voorkeur leidingen weggewerkt en vloeren voorzien van oplopende holle plinten	het gehele laboratorium glad en naadloos uitgevoerd, leidingen weggewerkt en vloeren voorzien van oplopende holle plinten
aantal niet-handbediende kranen	--	1	alle

## 1.12 Vrijgave van een radiologische ruimte

Voor de vrijgave van een radiologische ruimte na beëindiging van de handelingen met radioactieve stoffen is de hiernavolgende procedure vastgelegd. Deze procedure is vooral van belang indien in de ruimte is gewerkt met nucliden met een lange halfwaardetijd. Indien in de ruimte alleen is gewerkt met nucliden met een korte halfwaardetijd, kan worden volstaan met een eenvoudiger, door de vergunninghouder uit te werken, procedure. Het verdient aanbeveling deze procedure eerst aan de betrokken inspecties voor te leggen alvorens de ruimte vrij te geven.

Door de vergunninghouder kan worden gekozen voor het zelf uitvoeren van de procedure of het uitbesteden daarvan aan een gespecialiseerd bedrijf. De eindverantwoordelijkheid blijft bij de vergunninghouder. Wanneer naast het ontruimen van een radiologische ruimte tevens de verhuizing naar een andere locatie speelt dan dient, voorzover van toepassing, aandacht te worden besteed aan de aspecten met betrekking tot het vervoer van radioactieve stoffen.

De eerste stap is het schrijven van een plan van aanpak. Hierin dient het volgende te worden opgenomen:

- taakverdeling:
  - rol verantwoordelijk deskundige;
  - eventueel inschakeling van derden;
- inventarisatie van alle stralingsbronnen en hun huidige verblijfplaats, met een overzicht van de toekomstige bestemming van die bronnen. Van alle bronnen wordt vermeld waarheen zij zullen worden overgebracht. Daarbij dienen ten minste de naam en het adres van de nieuwe eigenaar vermeld te worden. Men moet zich ervan overtuigen dat deze nieuwe eigenaar over een kernenergiewet-vergunning beschikt, die voldoende ruimte biedt om de bronnen te aanvaarden;
- plattegrond van de betreffende ruimtes, waarop zijn aangegeven: voorraadkasten, zuurkasten, laminair air flow kasten, luchtlozingspunten, spoelplaatsen, afvalwatertanks, afvalwaterlozingspunten, opgeslagen radioactief afval enzovoort;
- historisch onderzoek:
  - welke nucliden zijn gebruikt en waar;
  - gevolgen voor specifieke plaatsen, bijvoorbeeld de afvoersystemen naar lucht, water (riool) en bodem;
- meetplan;
- werkvoorschriften van de besmettingscontroles;
- normen die worden gehanteerd voor restbesmetting;
- maatregelen ten behoeve van het vervoer van radioactieve stoffen;
- eindrapportage;
- tijdsplanning.

Op basis van het historisch onderzoek zal een inschatting moeten worden gemaakt van de potentiële besmettingen die nog aanwezig kunnen zijn in de betreffende ruimtes en installaties. Vervolgens zal een meetplan moeten worden opgesteld, waarin wordt aangegeven hoe en met welke apparatuur zal worden onderzocht in hoeverre sprake is van restbesmettingen. Met name in vuilwater-afvoerleidingen en lucht-afvoerleidingen moet met ophoping van activiteit rekening worden gehouden.

De omvang van de uit te voeren controles alsmede de relatie van het gehanteerde interventieniveau tot de detectielimiet van de te gebruiken meetapparatuur moeten worden beschreven. Na de ontmanteling van de radiologische ruimte mogen geen radioactieve stoffen boven de vergunningplichtige grens meer aanwezig zijn.

Wanneer wordt voorzien dat hierbij radioactief afval ontstaat, moet worden beschreven in welke vorm dit radioactieve afval zal voorkomen, hoe het zal worden bewerkt en verwerkt en hoe de afvoer wordt geregeld. Daarbij dient de hoeveelheid radioactief afval zoveel mogelijk beperkt te worden. Ook

worden de relevante aspecten van de toe te passen werkmethoden beschreven. In het plan geeft men aan hoe de stralingshygiënische begeleiding tijdens het uitvoeren van de procedure zal plaatsvinden. Wanneer niet eerder een dergelijk plan van aanpak is opgesteld, is het raadzaam het plan van aanpak aan de inspecties voor te leggen alvorens met de uitvoering van de procedure te beginnen.

Het plan van aanpak dient in de eindrapportage te worden opgenomen. In de rapportage moet ook worden aangegeven door wie en onder wiens verantwoordelijkheid de procedure is uitgevoerd. Ook moeten de belangrijkste meetresultaten worden weergegeven van de uitgevoerde besmettingscontroles en moet worden gerapporteerd over de afvoer van het eventuele radioactieve afval. Bij het verzoek tot het intrekken van de vergunning dient een afschrift van de eindrapportage te worden gevoegd met de conclusie van de betrokken verantwoordelijk deskundige.



## **2 Bepaling van de maximale hoeveelheid radioactiviteit waarmee in een radionucliden-laboratorium mag worden gewerkt**

### **2.1 Inleiding**

In dit hoofdstuk wordt de methode beschreven voor het gebruik van radioactieve stoffen in een radionucliden-laboratorium.

Voor handelingen met radioactieve stoffen buiten het radionucliden-laboratorium, zoals behandeling van patiënten met radioactieve stoffen en industriële tracermetingen, is deze methode niet bestemd. Ook voor de beoordeling van specifieke toepassingen is deze methode niet bedoeld. Dan zal een voor die situatie geldende risico-beoordeling moeten plaatsvinden, op grond waarvan maatregelen kunnen worden genomen.

Uitgangspunt bij de bepaling van de benodigde 'statische' maatregelen is dat de dosis die een werknemer tijdens de handelingen in reguliere omstandigheden kan ontvangen niet meer bedraagt dan 10% van de dosislimiet voor blootgestelde werknemers. Dit uitgangspunt heeft de Gezondheidsraad ook gehanteerd in haar rapport 1985/1<sup>1</sup>. In het algemeen zal bij het inrichten van een radionucliden-laboratorium goed aan deze eis kunnen worden voldaan.

De beschreven methode bestaat uit twee stappen.

Eerst wordt op grond van het risico op inwendige besmetting vastgesteld welke maatregelen nodig zijn voor het uitvoeren van bepaalde handelingen. Daarmee wordt ook de laboratorium-klasse vastgesteld (B, C of D, naar volgorde van afnemend risico). De hoeveelheid waarmee in het laboratorium mag worden gewerkt, verschilt tussen de klassen steeds een factor 100, verdeeld in een factor 10 ten gevolge van de klasse van het laboratorium en een factor 10 ten gevolge van de betere lokale voorzieningen ter plaatse van de handelingen.

Hierbij is het uitgangspunt dat de mogelijke stralingsdosis ten gevolge van inhalatie van radioactieve stoffen bepalend is voor het risico. Bij de bepaling van de dosis wordt daarom de inhalatiedosiscoëfficiënt<sup>2</sup> ( $e_{inh}$ ) gehanteerd.

Wanneer echter aantoonbaar is dat in een bepaalde werksituatie de dosis ten gevolge van ingestie bepalend is voor het risico, in plaats van die van inhalatie, dan zal de ingestiedosiscoëfficiënt<sup>3</sup> ( $e_{ing}$ ) moeten worden genomen. In het algemeen zal dan ook een ander model moeten worden gedefinieerd. Dit moet dan uiteraard bij de vergunningverlening aan de orde komen.

Daarna wordt door gewogen sommatie van de handelingen de belastingsfactor van een werkruimte bepaald en wordt vastgesteld of de totale voorzieningen in de ruimte voldoende zijn voor alle handelingen.

In paragraaf 2.2 zullen de criteria ten aanzien van inwendige besmetting worden uitgewerkt en in paragraaf 2.3 de criteria ten aanzien van uitwendige bestraling. In paragraaf 2.4 wordt de bepaling van de belastingsfactor van de werkruimte uitgewerkt.

---

<sup>1</sup> Advies inzake klasse-indeling van en lozingsnormen voor radionuclidenlaboratoria, uitgebracht door een commissie van de Gezondheidsraad, No.: 1985/1

<sup>2</sup> Zie formule (2.17) uit bijlage 2 van het Besluit stralingsbescherming (Stb. 397, 2001)

<sup>3</sup> Zie formule (2.16) uit bijlage 2 van het Besluit stralingsbescherming (Stb. 397, 2001)

## 2.2 Criteria ten aanzien van inwendige besmetting

### 2.2.1 Methode van begrenzing van de individuele handelingen

Voor de indeling van de handelingen is het risico op inwendige besmetting van belang. Bij de indeling is er vanuit gegaan dat inwendige besmetting in een radiologische werkruimte kan ontstaan door radioactieve stoffen die bij de handelingen worden verspreid. Zoals reeds gesteld, zal in het algemeen de mogelijke stralingsdosis, die ontstaat ten gevolge van inhalatie van een radioactieve stof door de daar aanwezige werknemers, bepalend zijn voor het risico. Wanneer wordt verwacht dat het risico vooral wordt bepaald door ingestie, dan zal dit moeten worden aangetoond en zal een andere systematiek moeten worden gekozen.

De hoeveelheid die kan worden geïnhaleerd, hangt af van de verspreidingskans bij een handeling, van de bescherming die de laboratoriumruimte biedt en van de lokale ventilatievoorziening. Voor de stralingsdosis die door een bepaalde inwendige besmetting wordt veroorzaakt, is de radiotoxiciteit van de geïnhaleerde stof van belang. Met het oog op het risico van inwendige besmetting zijn voor B-, C- en D- werkruimtes de toegestane werkhoeveelheden gebaseerd op de inhalatiedosiscoëfficiënt, verder aangeduid met  $e(g)_{inh}$ , voor stochastische effecten. Voor de berekeningen wordt gebruik gemaakt van deze  $e(g)_{inh}$ . De waarden hiervoor zijn gegeven in tabel 5 van bijlage 4 van het Besluit stralingsbescherming (Stb. 397, 2001). De feitelijke begrenzing wordt uitgedrukt in radiotoxiciteitsequivalenten voor inhalatie [ $Re_{inh}$ ].

Met formule (2.1) kan de waarde worden bepaald van de maximaal toegelaten hoeveelheid toe te passen activiteit uitgedrukt in radiotoxiciteitsequivalent voor inhalatie [ $Re_{inh}$ ] onder bepaalde genomen maatregelen of omstandigheden. Het betreft met name de kans op verspreiding, de bescherming door de ruimte en de lokale ventilatie. In deze formule zijn parameters opgenomen betreffende genoemde aspecten:

$$X_{max, j} = 0,02 * 10^{p+q+r} [Re_{inh}] \quad (2.1)$$

waarin:

$X_{max, j}$	=	aantal radiotoxiciteitsequivalenten [ $Re_{inh}$ ] dat maximaal per handeling $j$ tegelijkertijd mag worden toegepast ( $X$ is onafhankelijk van het radionuclide)
0,02	=	dosislimiet voor blootgestelde werknemers [ $Sv$ ]
$p$	=	parameter voor de kans op verspreiding
$q$	=	beschermingsparameter van de werkruimte
$r$	=	parameter voor lokale ventilatievoorziening.

De maximale hoeveelheid radioactiviteit die van een radionuclide  $i$  onder die omstandigheden mag worden toegepast is derhalve, in formule:

$$A_{max, j, i} = \frac{X_{max, j}}{e(g)_{inh, i}} [Bq] \quad (2.2)$$

waarin:

$A_{max, j, i}$	=	maximaal toe te passen activiteit [ $Bq$ ] voor handeling $j$ en radionuclide $i$
$X_{max, j}$	=	aantal radiotoxiciteitsequivalenten [ $Re_{inh}$ ] dat maximaal per handeling $j$ tegelijkertijd mag worden toegepast ( $X$ is onafhankelijk van het radionuclide)
$e(g)_{inh, i}$	=	inhalatiedosiscoëfficiënt [ $Sv/Bq$ ] voor stochastische effecten van radionuclide $i$ .

De  $e(g)_{inh}$  en de parameters  $p$ ,  $q$  en  $r$  worden hierna toegelicht.

Eerst worden de verschillende parameters uit de formule beschreven. Daarna wordt de berekening van de maximaal te gebruiken hoeveelheden behandeld.

### 2.2.2 Inhalatiedosiscoëfficiënt $e(g)_{inh}$

De waarde van de factor  $10^{p+q+r}$  is de factor waarmee rekening moet worden gehouden bij de bepaling van de maximale hoeveelheid radioactiviteit waarmee mag worden gewerkt. Deze factor is een maat voor de hoeveelheid radioactiviteit die door besmetting een stralingsdosis kan veroorzaken.

Om de maximale hoeveelheid radioactiviteit te bepalen waarmee mag worden gewerkt moet de factor  $10^{p+q+r}$  worden gedeeld door de inhalatiedosiscoëfficiënt  $e(g)_{inh}$  en vermenigvuldigd met de dosislimiet voor blootgestelde werknemers voor stochastische effecten (0,02 Sv).

De inhalatiedosiscoëfficiënt  $e(g)_{inh}$  wordt genomen uit tabel 5 van bijlage 4 van het Besluit stralingsbescherming.

### 2.2.3 Verspreidingsparameter $p$

De parameter  $p$  is ingevoerd om de kans op verspreiding van radioactieve stoffen in rekening te kunnen brengen. De kans op verspreiding hangt niet alleen samen met de vorm waarin de stof zich bevindt, maar eveneens met de aard van de handelingen. Hier wordt de parameter  $p$  bepaald door de kans op verspreiding van radioactieve stoffen bij bepaalde handelingen. Deze lijst is weergegeven in tabel 2.

Tabel 2: Waarde van de verspreidingsparameter  $p$  voor bepaalde handelingen binnen het laboratorium.

TOEPASSING	$p$
Eenvoudige bewerking met gassen Hanteren van poeders in 'open' systeem bijvoorbeeld mengen of malen Vloeistof met temperatuur tegen kookpunt Sterk spattende bewerkingen	- 4
Labeling met vluchtig nuclide (bijv. jodium) Koken van vloeistoffen in 'gesloten' systeem Centrifugeren en mengen op vortex Eenvoudige bewerking van poeders in 'gesloten' systeem Opslag van edelgas in toediensysteem	- 3
Labeling met niet-vluchtig nuclide Eenvoudige chemische bepaling met tracers (bijv. RIA)	- 2
Eenvoudige handelingen in 'gesloten' systemen zoals: Elutie Tc-generator Optrekken van spuit Labeling in gesloten systemen Kalibratie I-131 capsule Metingen aan stoffen in moeilijk verspreidbare vorm (bijvoorbeeld in ampul) Opslag van radioactief afval in werkruimte	- 1

Een bijzondere toepassing is de elutie van een Mo/Tc generator. De handelingen kunnen worden beschouwd als handelingen met Tc-99m. Voor de opslag moet uiteraard worden uitgegaan van Mo-99.

In de praktijk zullen bewerkingen, die niet in de lijst voorkomen, een  $p$ -waarde moeten krijgen die aan handelingen met een vergelijkbare kans op verspreiding is toegekend.

#### 2.2.4 Beschermingsparameter $q$

De hoeveelheid radioactiviteit die in een bepaalde werkruimte mag worden gehanteerd, is onder andere afhankelijk van de parameter  $q$  voor de bescherming die de ruimte biedt. Hierbij wordt het effect in rekening gebracht van de bescherming door de aanwezige voorzieningen zoals ventilatie, onderdruk en bijvoorbeeld een sluis. Tevens wordt rekening gehouden met de deskundigheid van de toezichthouder, de indeling als blootgestelde werknemer en een strenger toelatingsregime. Voor  $q$  kunnen de volgende waarden worden gehanteerd:

- $q = 0$  Werkruimtes buiten het laboratorium-beheer
- $q = 1$  D-laboratorium
- $q = 2$  C-laboratorium
- $q = 3$  B-laboratorium.

#### 2.2.5 Ventilatieparameter $r$

De parameter  $r$  voor de lokale ventilatievoorziening wordt als volgt ingevuld:

- $r = 0$  Voor het werken buiten de zuurkast zonder aanvullende ventilatievoorzieningen
- $r = 1$  Deze waarde mag worden gebruikt in geval van plaatselijke afzuiging of een zuurkast die niet is getest volgens DIN-12924, maar waarbij wel vaststaat dat minder dan 10% van de hoeveelheid stof die vrijkomt in de zuurkast, in de werkruimte komt
- $r = 2$  Dit geldt voor een goede zuurkast, waaronder wordt verstaan dat van de stof die vrijkomt in de zuurkast minder dan 1% in de werkruimte komt. Een zuurkast met een kwalificatie volgens DIN-12924 waarin geen opstelling is die de luchtstroom ernstig verstoort of een laminair air flow isolator (veiligheidskabinet klasse II) zullen in het algemeen aan deze norm voldoen
- $r = 3$  Gesloten werkkast. Hierbij wordt gedacht aan een klasse-III kabinet voor biologische veiligheid met een kwalificatie volgens NEN-EN 12469 of een gesloten laminair air flow isolator die aan deze eisen voldoet.

De waarde die mag worden ingevuld voor de bepaling van de maximaal toe te passen hoeveelheid, moet in relatie worden gezien met de waarde van  $q$ . Om te waarborgen dat de hoeveelheden die mogen worden toegepast in de verschillende categorieën van laboratoria evenwichtig zijn, moet de waarde van  $r$  worden begrensd afhankelijk van die categorie. Daarom mag de waarde van  $r$  bij berekeningen nooit groter worden genomen dan die van  $q$ . Uiteraard mogen betere voorzieningen (dus met een hogere  $r$ ) wel worden gebruikt.

#### 2.2.6 Maximaal toegestane hoeveelheid radioactiviteit voor bepaalde handelingen

Het aantal radiotoxiciteitsequivalenten  $X_{j,i}$ , overeenstemmende met een bij handeling  $j$  toe te passen hoeveelheid activiteit  $A_{j,i}$  van radionuclide  $i$  komt overeen met:

waarin: 
$$X_{j,i} = A_{j,i} * e(g)_{inh,i} \quad (2.3)$$

- $X_{j,i}$  = aantal radiotoxiciteitsequivalenten [ $Re_{inh}$ ] dat wordt gehanteerd bij de handeling  $j$  met radionuclide  $i$
- $A_{j,i}$  = activiteit [ $Bq$ ] die per handeling  $j$  met radionuclide  $i$  tegelijkertijd wordt toegepast
- $e(g)_{inh,i}$  = inhalatiedosiscoëfficiënt [ $Sv/Bq$ ] voor stochastische effecten van radionuclide  $i$ .

Om het aantal radiotoxiciteitsequivalenten te bepalen waarmee gelijktijdig wordt gewerkt als een handeling met  $m$  radionucliden tegelijk wordt verricht, moeten de radiotoxiciteitsequivalenten van de verschillende radionucliden  $i$  worden opgeteld volgens formule:

$$X_j = \sum_{i=1}^m X_{j,i} \quad (2.4)$$

waarin:

$X_j$  = aantal radiotoxiciteitsequivalenten [ $Re_{inh}$ ] dat wordt gehanteerd bij de handeling  $j$   
 $m$  = aantal verschillende radionucliden  $i$  dat per handeling  $j$  tegelijkertijd wordt toegepast en waarover moet worden gesommeerd  
 $X_{j,i}$  = aantal radiotoxiciteitsequivalenten [ $Re_{inh}$ ] dat wordt gehanteerd bij handeling  $j$  met radionuclide  $i$ .

Met formule (2.5) kan voor de verschillende handelingen eenvoudig worden getoetst of het aantal radiotoxiciteitsequivalenten waarmee wordt gewerkt  $X_j$  kleiner is dan het aantal waarmee maximaal mag worden gewerkt  $X_{max,j}$ .

$$X_j \leq X_{max,j} \quad (2.5)$$

waarin:

$X_j$  = aantal radiotoxiciteitsequivalenten [ $Re_{inh}$ ] dat wordt gehanteerd bij handeling  $j$   
 $X_{max,j}$  = aantal radiotoxiciteitsequivalenten [ $Re_{inh}$ ] dat maximaal per handeling  $j$  tegelijkertijd mag worden toegepast.

De uitkomsten van de berekening van de waarde voor  $X_{max,j}$  voor verschillende omstandigheden, berekend met formule (2.1), zijn samengevoegd in tabel 3. Er is vanuit gegaan dat aan de waarde van  $q$  en  $r$  voor de beschikbare voorzieningen invulling wordt gegeven zodat wordt voldaan aan de eisen zoals die zijn voorgeschreven voor de verschillende klassen van laboratoria. De genoemde waarden voor  $q$  en  $r$  zijn maxima. De waarde van  $r$  mag nooit hoger worden genomen dan die van  $q$ . De waarde  $p$  kan worden geschat volgens tabel 2.

Onder de in tabel 3 aangegeven omstandigheden mogen geen handelingen worden uitgevoerd met een hogere kans op verspreiding (lagere  $p$ ) dan in de tabel is aangegeven. In de praktijk betekent invulling van ALARA dat steeds moet worden bekeken of een optimaler niveau van bescherming kan worden bereikt of, omwille van de stralingshygiëne, een werkplek moet worden gekozen die meer bescherming biedt.

De bepaling van de hoeveelheid radioactiviteit die in de bergplaats in of bij een laboratorium mag worden opgeslagen, wordt beschreven in paragraaf 2.4.2.

Tabel 3: Toetsingsparameters voor de bepaling van de maximaal te hanteren hoeveelheden radioactiviteit voor diverse handelingen in de verschillende radiologische ruimtes.

LOCATIE	$q$	$r$	$p$	$X_{max} [Re_{inh}]$
B-lab, gesloten kast (klasse III)	3	3	-4	2
			-3	20
			-2	200
			-1	2000
B-lab, zuurkast (DIN-gekeurd) Laminair Flow Isolator (klasse II) < 1% uittrede in werkruimte	3	2	-4	0,2
			-3	2
			-2	20
			-1	200
B-lab, zuurkast / LAF kast < 10% uittrede in werkruimte	3	1	-3	0,2
			-2	2
			-1	20
B-lab, in werkruimte, bijv. op laboratoriumtafel	3	0	-2	0,2
			-1	2
C-lab, zuurkast (DIN-gekeurd), Laminair Flow Isolator (klasse II) < 1% uittrede in werkruimte	2	2	-4	0,02
			-3	0,2
			-2	2
			-1	20
C-lab, zuurkast / LAF-kast < 10% uittrede in werkruimte	2	1	-3	0,02
			-2	0,2
			-1	2
C-lab, in werkruimte, bijv. op laboratoriumtafel	2	0	-2	0,02
			-1	0,2
D-lab, zuurkast / LAF-kast	1	1	-2	0,02
			-1	0,2
D-lab, in werkruimte, bijv. op laboratoriumtafel	1	0	-2	0,002
			-1	0,02
Nevenruimte binnen laboratoriumbeheer	1	0	-1	0,02
Ruimtes buiten het laboratoriumbeheer	0	0	-1	0,002

## 2.3 Criteria ten aanzien van uitwendige bestraling

### 2.3.1 Uitwendige bestraling ten gevolge van handelingen en opstellingen

Het werken met radioactieve stoffen kan niet alleen het risico van inwendige of uitwendige besmetting met zich brengen, maar in een aantal gevallen eveneens uitwendige bestraling. Omdat het berekenen van het dosistempo rondom een hoeveelheid radioactiviteit in iedere cursus voor stralingsdeskundige aan de orde komt, wordt dit hier verder niet toegelicht. Hier worden alleen de randvoorwaarden vermeld die moeten worden aangehouden bij de berekeningen.

Uitgangspunt bij de bepaling van de benodigde afscherming bij 'structureel langdurige' opstellingen is altijd dat een werknemer tijdens de handelingen vanwege uitwendige bestraling in reguliere omstandigheden in beginsel niet meer dosis kan ontvangen dan 10% van de dosislimiet voor blootgestelde werknemers. Omgerekend is dit 1  $\mu\text{Sv}$  per uur.

Gezien de beschikbaarheid van afschermingsmateriaal, zowel voor bescherming tegen bèta-straling als tegen gamma-straling, zal deze norm in het algemeen eenvoudig haalbaar zijn en, gemiddeld over de handelingen, ook moeten worden aangehouden. Dit gemiddelde wordt bepaald door de tijd te nemen, die een persoon nodig heeft voor handelingen die bij elkaar horen.

In het algemeen zal het invullen van het ALARA-beginsel echter betekenen dat lagere waarden worden aangehouden dan hier vermeld.

### 2.3.2 Submersie

In tabel 7 van bijlage 4 van het Besluit stralingsbescherming worden de waarden gegeven die moeten worden aangehouden voor de bepaling van de effectieve dosis die personen ontvangen ten gevolge van blootstelling aan edelgassen in de lucht.

## 2.4 Bepaling van de belastingsfactor van de werkruimte

### 2.4.1 De belastingsfactor van de werkruimte waar handelingen met radioactieve stoffen plaatsvinden

Om te bepalen of de hoeveelheid activiteit waarmee in een laboratorium mag worden gewerkt niet wordt overschreden, moet de Belastingsfactor ( $B$ ) van die werkruimte worden bepaald. Deze factor geeft aan in hoeverre het laboratorium wordt belast ten opzichte van de situatie waarvoor deze is ontworpen. De belastingsfactor van de werkruimte mag niet groter zijn dan 1.

De belastingsfactor wordt bepaald voor het uitvoeren van handelingen met radioactieve stoffen en voor opslag ervan buiten de bergplaats. De werkwijze voor bepaling van de belastingsfactor wordt hieronder beschreven.

Voor de werkruimte worden eerst de plaatsen gedefinieerd waar handelingen plaatsvinden met radioactiviteit dan wel waar opslag plaatsvindt. Per plaats worden de parameters  $q$  en  $r$  vastgelegd. Tevens worden voor de verschillende handelingen  $j$  die plaatsvinden per nuclide  $i$  de hoeveelheid activiteit  $A_{j,i}$  en de verspreidingsparameters  $p$  bepaald. De waarde van  $X_j$  is voor de verschillende handelingen berekend met formule (2.3).

Om de belastingsfactor te kunnen berekenen moet worden geschat hoeveel uur  $t_j$  per week elke handeling  $j$  voorkomt. Voor  $t_j$  wordt het aantal uren genomen, dat personen tijdens de handelingen  $j$  in de werkruimte aanwezig zijn. De berekeningen kunnen worden vereenvoudigd door vergelijkbare handelingen met dezelfde radioactieve stof samen te voegen. In het algemeen zal de waarde van  $t_j$  niet groter zijn dan 40 uur per week. Dit is met name van belang voor handelingen zoals metingen, die buiten de werktijd doorgaan. Voor opslag buiten de bergplaats in de werkruimte mag ook worden uitgegaan van 40 uur per week, omdat werknemers per week niet langer in het laboratorium zullen werken. De belastingsfactor van een werkruimte kan worden berekend met formule:

$$B_w = \sum_{j=1}^n \frac{t_j}{40} * \frac{X_j}{X_{\max,j}} \leq 1 \quad (2.6)$$

waarin:

$B_w$	=	belastingsfactor van de werkruimte
$n$	=	aantal handelingen $j$ die in de werkruimte plaatsvinden en waarover moet worden gesommeerd
$t_j$	=	aantal uren per week dat een bepaalde handeling $j$ wordt uitgevoerd of een situatie zich voordoet
$X_j$	=	aantal radiotoxiciteitsequivalenten [ $Re_{inh}$ ] dat wordt gehanteerd bij handeling $j$
$X_{\max,j}$	=	aantal radiotoxiciteitsequivalenten [ $Re_{inh}$ ] dat maximaal per handeling $j$ tegelijkertijd mag worden toegepast.

Wanneer  $B_w$  groter is dan 1 dan zijn onvoldoende maatregelen genomen. Dit kan optreden wanneer de verschillende werkplaatsen of opslagplaatsen in een ruimte maximaal worden benut voor wat betreft tijd ( $t/40$ ) en of activiteit ( $X/X_{max}$ ). Aanvullende maatregelen moeten dan worden genomen om te compenseren voor de gelijktijdige blootstelling aan de verschillende gevaarsbronnen. Met de hiervoor beschreven methode kan worden nagegaan welke maatregelen het meest effectief zijn.

Formule (2.6) uitgedrukt in becquerel wordt:

$$B_w = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \frac{t_j}{40} * \frac{A_{j,i}}{A_{max,j,i}} \leq 1 \quad (2.7)$$

waarin:

$B_w$	=	belastingsfactor van de werkruimte
$n$	=	aantal handelingen $j$ die in de werkruimte plaatsvinden en waarover moet worden gesommeerd
$m$	=	aantal verschillende radionucliden $i$ dat per handeling $j$ tegelijkertijd wordt toegepast en waarover moet worden gesommeerd
$t_j$	=	aantal uren per week dat een bepaalde handeling $j$ wordt uitgevoerd of een situatie zich voordoet
$A_{j,i}$	=	activiteit [ $Bq$ ] die per handeling $j$ met radionuclide $i$ tegelijkertijd wordt toegepast
$A_{max,j,i}$	=	maximaal toe te passen activiteit [ $Bq$ ] voor handeling $j$ en radionuclide $i$ .

## 2.4.2 Opslag

Het aantal radiotoxiciteitsequivalenten [ $Re_{inh}$ ] dat maximaal mag worden opgeslagen in een bergplaats is tienmaal de hoeveelheid welke met formule (2.1) kan worden berekend en op enig moment in het bijbehorende laboratorium mag worden gehanteerd bij de hoogst geldende waarde van  $r$  met waarde  $p = -1$ . Hierbij moet de voorraad en het radioactief afval worden gesommeerd. De voor opslag benodigde hoeveelheid kan voor laboratorium-complexen afwijken van de hier berekende waarde. Afwijking van deze waarde is alleen toegestaan wanneer dit in de vergunning is geregeld. Bij de bepaling van de gewenste hoeveelheid wordt de inhalatie als belastingpad gehanteerd, omdat dat het meest beperkende pad lijkt bij een ongeval, namelijk directe inhalatie bij verspreiding in lucht bij brand.

De externe straling voor het milieu wordt in veel gevallen voldoende beperkt door de voorwaarde dat op 10 cm van de buitenzijde van de bergplaats het omgevingsdosistempo niet hoger mag zijn dan 1  $\mu$ Sv per uur.

\* \* \* \* \*