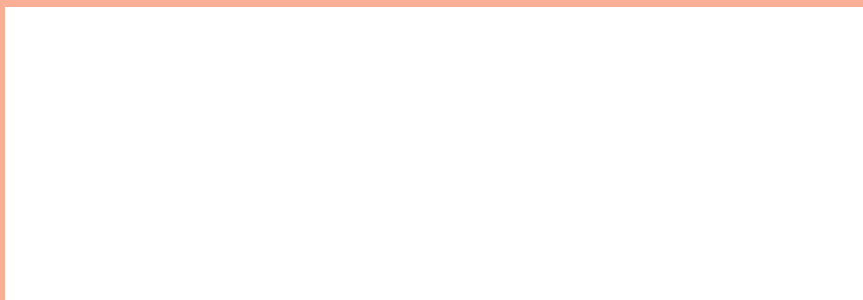




Ministerie van Sociale Zaken
en Werkgelegenheid

Werkdocumenten



Beheersing van risico's bij handelingen met open bronnen in laboratoria

mei 2006

nummer 354 – 2^e gewijzigde druk

**T.W.M. Grimbergen - dienst Arbo en Milieu
M.M. Wiegman - Nucleaire Geneeskunde en PET Research**

**Vrije Universiteit/VU medisch centrum
Amsterdam**

Dit onderzoek is mede gefinancierd door het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid onder opdrachtnummer 443056

SAMENVATTING

Voor handelingen met open bronnen is vaak een vergunning vereist. In de vergunningsaanvraag wordt aangegeven hoe de risico's worden beperkt tot een aanvaardbaar niveau. Dit rapport geeft de resultaten van een onderzoek naar mogelijkheden voor optimalisatie van beheersmaatregelen bij het werken met open bronnen (radioactieve stoffen) in laboratoria.

Het onderzoek bestond uit een enquête onder vergunninghouders, uit een literatuuronderzoek naar bestaande richtlijnen en uit modelberekeningen. Hieruit is een voorstel voor een nieuwe leidraad samengesteld. De voorgestelde leidraad geeft een overzicht van beheersmaatregelen ontleend aan bestaande richtlijnen, ingedeeld volgens de arbeidshygiënische strategie. Maatregelen die gericht zijn op de bron krijgen prioriteit, gevolgd door maatregelen gericht op de werkplek en op de werknemer.

Met behulp van een eenvoudige rekenregel afgeleid uit een bestaand luchtverspreidingsmodel kan worden aangegeven of de blootstelling door inhalatie van radioactieve stoffen voldoende is beperkt. Onder de aanname, dat afwijkende gebeurtenissen als breuk van glaswerk, morsen van radioactiviteit of uitval van de ventilatie met een zekere regelmaat voorkomen, kan met behulp van het luchtverspreidingsmodel worden aangetoond dat niet chronische blootstelling maar incidentele blootstelling maatgevend is voor de blootstelling door inhalatie. Maximaal te hanteren hoeveelheden voor verschillende typen bewerkingen en omstandigheden zijn afgeleid uit berekening van de transferfractie en keuze van dosisbeperkingen bij incidentele blootstellingen, te weten 1 mSv in B-laboratoria en 0,1 mSv in C- en D-laboratoria.

Daarnaast zijn criteria voor maximaal te hanteren hoeveelheden radioactieve stoffen ontleend aan de bestaande richtlijnen. Combinatie van deze gegevens levert maximaal te hanteren hoeveelheden radioactieve stoffen in tabelvorm voor verschillende typen bewerkingen en onder verschillende omstandigheden. De maximaal te hanteren hoeveelheid radioactieve stoffen wordt uitgedrukt als activiteit maal dosisconversiecoëfficiënt, met speciale eenheid Re, en varieert in de voorgestelde leidraad van 0,01 Re voor handelingen in een nevenruimte bij een laboratorium tot 1000 Re voor handelingen in een gekeurde zuurkast in een B-laboratorium.

De voorgestelde leidraad houdt in een aantal gevallen een versoepeling in ten opzichte van eerder gehanteerde normen voor de maximaal te hanteren hoeveelheden radioactieve stoffen, en in andere gevallen juist een beperking. Versoepeling ten opzichte van eerder gehanteerde normen geldt in de gevallen waarbij er maatregelen bij de bron zijn genomen om verspreiding in de lucht tegen te gaan, die ook bij een afwijkend verloop van de gebeurtenissen effectief zijn, zoals het werken met gesloten systemen en met niet-vluchtige nucliden. Beperking ten opzichte van eerder gehanteerde normen geldt juist in de gevallen waar dit in mindere mate het geval is, zoals bij bewerkingen zonder specifieke afzuigvoorzieningen.

De in dit onderzoek ontwikkelde leidraad biedt de mogelijkheid risico's bij handelingen met radioactieve stoffen op een gestandaardiseerde wijze te beoordelen en de beheersing van de risico's verder te optimaliseren. De voorgestelde leidraad is niet ingewikkelder in het gebruik dan de bestaande richtlijn en toepasbaar in het overgrote merendeel van de toepassingen van radioactieve stoffen in laboratoria. De voorgestelde leidraad sluit beter aan bij de arbeidshygiënische strategie, doordat meer nadruk ligt op het optimaliseren van de fysisch chemische eigenschappen van de bron en van de specifieke afzuigvoorzieningen (brongerichte maatregelen), en minder op de eigenschappen van de werkplek. De in de leidraad voorgestelde maximaal te hanteren hoeveelheden voor B- en C-laboratoria zijn in een aantal gevallen beter onderbouwd met behulp van het luchtverspreidingsmodel en een dosisbeperking voor inhalatie van radioactieve stoffen bij incidentele blootstellingen. In de andere gevallen wordt de huidige praktijk gehandhaafd door de bestaande richtlijnen over te nemen.

SUMMARY

Working with open sources (radioactive substances) generally requires a licence. In the apply for a licence it is indicated how the risks are being limited to an acceptable level. This report gives the results of a study seeking for possibilities for optimisation of control measures for working with open sources (radioactive substances) in laboratories.

The study consisted of a questionnaire sent to licence holders, an evaluation of existing guidelines and model calculations. From this new guiding principles were constructed. The proposed guiding principles give an overview of control measures adopted from existing guidelines, arranged according to general health and safety principles of prevention. Measures aimed at the source get highest priority, followed by measures aimed at the working place and at the worker.

By means of a simple arithmetical rule deduced from an air dispersion model it can be indicated whether or not the exposure by inhalation of radioactive substances is sufficiently limited. Assuming that incidents like dropping, spilling and ventilation malfunction happen from time to time, calculations with the air dispersion model show that acute exposure due to incidents, rather than chronic exposure, is normative for the exposure by inhalation. Maximum allowable handling quantities for different types of operations and situations were deduced from calculation of the transfer fraction and the choice of a dose constraint for incidents, that is 1 mSv for B-class laboratories (controlled areas) and 0,1 mSv for C- and D-class laboratories (supervised areas).

In addition, criteria for maximum allowable handling quantities were adopted from existing guidelines. Combination of these data results in tables of maximum allowable handling quantities, for different types of operations and situations. The maximum allowable handling quantities are expressed as activity times dose conversion coefficient, with special unit Re (dimension Sv), and varies in the proposed guiding principles from 0,01 Re for operations in a room adjacent to the laboratory (within the classified area) to 1000 Re for operations in the working space of an approved fume hood in a B-class laboratory.

The proposed guiding principles result in an increase or a decrease of maximum allowable handling quantities compared to present guidelines, depending on type of operation and protective measures. The maximum allowable handling quantities increases in those cases where measures are in place to reduce dispersion of radioactivity in air, which are effective in case of an incident as well, such as operations with non-volatile nuclides in closed systems. On the other hand, maximum allowable handling quantities reduce when this is not the case, for example for operations with poor local ventilation.

The guiding principles developed in this study offer the opportunity to judge the risks of operations with open sources in a uniform way and to optimise the protection measures. The proposed guiding principles are not more complicated in use compared to the present guidelines and cover most of the operations with open sources in laboratories. The proposed guiding principles are more compatible with general health and safety principles of prevention, because more emphasis lies on optimisation of measures aimed at the source, and less on properties of the work place. In some cases the maximum allowable handling quantities proposed in the guiding principles for B- and C-class laboratories are better founded by applying the air dispersion model and the dose constraints for inhalation in the case of incidents. In the remaining cases common practice is maintained by adopting the present guidelines.

Inhoud

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Methoden.....	3
2.1	Enquête onder vergunninghouders	3
2.2	Bronnen van de gebruikelijke stralingshygiënische praktijk	4
2.3	Samenstellen eenvoudige rekenregel uit het HARAS-model	4
3	Resultaten.....	5
3.1	Samenvatting resultaten van de enquête.....	5
3.2	Indeling toegestane handelingen per laboratoriumklasse.....	7
3.3	Maximaal te hanteren hoeveelheid per laboratoriumklasse.....	7
3.4	Blootstelling door inhalatie bij bewerkingen	8
4	Discussie	8
4.1	Verschillen met eerdere richtlijnen	8
4.2	Consequenties voor de praktijk.....	10
4.3	Aansluiting met overige richtlijnen.....	12
5	Conclusie	13

Bijlage I

Leidraad voor handelingen met radioactieve stoffen in laboratoria

1	Beheersmaatregelen	2
1.1	Bestrijding aan de bron	2
1.2	Afscherming bij de bron.....	3
1.3	Aanpassing van de werkplek.....	5
1.4	Afscherming van de mens.....	7
1.5	Persoonlijke bescherming	11
2	Toetsingscriteria voor beheersmaatregelen in laboratoria	13
3	Toelichting bij de toetsing van beheersmaatregelen voor laboratoria.....	18
3.1	Indeling van typen bewerkingen.....	18
3.2	Eisen aan de werkplek op grond van type bewerking.....	20
3.3	Beperking van inhalatie bij incidentele blootstellingen	20
3.4	Maximaal te hanteren hoeveelheid op grond van de laboratoriumklasse.....	24
3.5	Bepaling van de maximaal te hanteren hoeveelheid	24
3.6	Stroomdiagram voor toetsing van een geplande toepassing.....	24
4	Verklaring van enkele gebruikte termen	28

Bijlage II

Verantwoording eenvoudige rekenregel inhalatie

1	Inleiding	1
2	Belastingsfactor voor inhalatie.....	1
3	Dosisbeperkingen voor inhalatie	2
4	De transferfractie	2
5	Chronische blootstelling	5
5.1	Invloed fysisch-chemische vorm en type bewerking	5
5.2	Invloed ventilatievoorzieningen	6
5.3	Maximaal te hanteren hoeveelheid vanwege chronische blootstelling	7
6	Incidentele blootstelling	7
6.1	Falen van het type bewerking	7
6.2	Falen van de specifieke afzuigvoorziening	10
6.3	Maximaal te hanteren hoeveelheid vanwege incidentele blootstelling	11
7	Vergelijkingen resultaten modelberekeningen	11
7.1	Chronische blootstelling en incidentele blootstelling.....	11
7.2	Effect afronding transferfracties	12
7.3	Vergelijking met de Bijlage Radionuclidenlaboratorium	12

Referenties

1 Inleiding

Handelingen met open bronnen brengen risico's met zich mee voor werknemers en voor het milieu. De handelingen en mogelijke blootstellingspaden zijn vaak divers van aard, en daarmee ook de maatregelen die genomen worden om chronische blootstelling zo veel mogelijk te vermijden en de kans op incidentele blootstellingen tot aanvaardbare proporties te beperken. Opsommingen van dergelijke maatregelen passend bij een "goede stralingshygiënische praktijk" zijn uitvoerig beschreven in stukken van de overheid [1] en in diverse leerboeken, welke gebruikt worden bij de opleidingen tot stralingsdeskundige (zie bijvoorbeeld [2]).

In het verleden werd de Richtlijn Radionuclidenlaboratoria (1994) uitgegeven door de overheid. De publicatie gaf richtlijnen voor beheersmaatregelen voor handelingen met radioactieve stoffen in radionuclidenlaboratoria. Het betrof zowel maatregelen ter beperking van de blootstelling van werknemers als ter beperking van de belasting van het milieu. De richtlijn gaf ook eenvoudige toetsingscriteria waarmee het evenwicht tussen risico's en beheersmaatregelen getoetst kan worden (het "richtlijnmodel"). De onderbouwing van de toetsingscriteria is echter steeds onderwerp geweest van kritiek. Inmiddels wordt de Richtlijn Radionuclidenlaboratoria niet meer uitgegeven.

Een gedegen analyse van de mogelijke inhalatie van radioactieve stoffen door de werknemer bij handelingen met open bronnen werd gepresenteerd in het HARAS-rapport [3] van het Centrum Stralingsbescherming en Dosimetrie/Stralingsbeschermingsdienst van de Technische Universiteit Eindhoven (SBD-TU/e). Op basis van het HARAS-model (HARAS: Hanteerbaarheid van Radioactieve Stoffen) en een keuze voor een norm voor een aanvaardbare incidentele blootstelling door inhalatie, kunnen de specifieke beheersmaatregelen gericht op het beperken van de inhalatie door de direct betrokken medewerker getoetst worden.

Met deze benadering is het mogelijk de norm voor een aanvaardbare incidentele blootstelling op een expliciete wijze afhankelijk te maken van de zwaarte van het stralingshygiënisch regime. De zwaarte van het stralingshygiënisch regime komt tot uitdrukking in de classificatie van de betreffende ruimte, zoals de laboratoriumklasse c.q. het type zone.

De toets met betrekking tot het inhalatierisico geeft op zichzelf nog geen garanties voor een in alle opzichten geoptimaliseerde situatie, omdat slechts één van de mogelijke blootstellingspaden wordt beschouwd. Een onbedoeld effect van zo'n beperkte toets zou zelfs kunnen zijn dat de nadruk te sterk komt te liggen op maatregelen die de inhalatie beperken, en dat daardoor te weinig maatregelen worden getroffen om de andere blootstellingspaden, zoals ingestie via oppervlaktebesmettingen, te beperken. Ook is het wenselijk de maximale hoeveelheid radioactieve stoffen te begrenzen om de gevolgen voor de directe omgeving bij het scenario brand te beperken; dit scenario wordt niet in de HARAS-berekeningen meegenomen.

Het beperken van verspreiding van radioactieve stoffen gebeurt daarom verder door de handelingen te verrichten onder een gepast stralingshygiënisch regime. Het classificeren van de ruimte als gecontroleerde of bewaakte zone kan zo'n regime ondersteunen. Anders dan bij de maatregelen ter beperking van de inhalatie, zijn er geen gedegen rekenmodellen beschikbaar waaruit een eenvoudige rekenregel kan worden afgeleid voor het toetsen van de classificatie van radionucliden-laboratoria. Daarom wordt voor het stellen van voorwaarden met betrekking tot classificatie van de ruimte teruggegrepen op de gebruikelijke praktijk. Uitgangspunt is dat de gebruikelijke praktijk overeenkomt met de voorwaarden genoemd in de hierboven genoemde richtlijnen van de overheid. Praktisch betekent dat, dat de maximaal te hanteren hoeveelheden radioactieve stoffen in de verschillende laboratoriumklassen uit de genoemde richtlijnen in dit rapport worden overgenomen.

Het onderzoek is specifiek gericht op arbeidshygiënische aspecten van de beheersmaatregelen bij handelingen met open bronnen. Dat betekent dat maatregelen specifiek gericht op beperking van de belasting van het milieu en de toetsing ervan in dit rapport buiten beschouwing blijven. Verder houdt dat in dat de maatregelen ter beperking van de blootstelling door externe straling niet uitgebreid beschouwd worden. Immers, deze maatregelen zijn niet specifiek van toepassing op open bronnen, maar ook op ingekapselde bronnen en toestellen.

De toepasbaarheid van de in dit rapport gepresenteerde beheersmaatregelen en bijbehorende toetsing is in principe beperkt tot laboratoria. Daarbij was het doel om het overgrote deel van handelingen met radioactieve stoffen in een laboratorium af te dekken. Voor het werken in een isolator bevat dit rapport echter geen toetsingscriteria. Verondersteld wordt dat de bescherming van een isolator minstens zo goed is als dat van een gekeurde zuurkast, en dat daarom de toetsingscriteria voor handelingen in een gekeurde zuurkast ook gebruikt kunnen worden voor handelingen in een isolator. Handelingen met hoeveelheden die groter zijn dan wat maximaal is toegestaan in een gekeurde zuurkast vallen buiten het kader van dit rapport. Voor dit soort bewerkingen moet in een specifieke risicoanalyse aannemelijk worden gemaakt dat de (potentiële) blootstellingen tot een aanvaardbaar niveau zijn beperkt.

Het rapport behandelt niet de stralingshygiënische aspecten van handelingen met open bronnen waar al specifieke regelingen voor zijn, zoals radionuclidentherapie, vervoer van radioactieve stoffen en milieubelasting, maar getracht is wel om strijdigheden met deze specifieke regelingen te voorkomen. Ook een aantal toepassingsgebieden waarvoor momenteel geen specifieke regeling voor bestaat vallen buiten het kader van dit rapport, zoals radionuclidendiagnostiek, industriële toepassingen van radionucliden en ruimten waar eenvoudige handelingen (verplaatsen, sorteren) met radioactief afval plaatsvinden. Met name de toetsingscriteria uit dit rapport zijn op deze toepassingsgebieden niet toepasbaar, omdat deze gekoppeld zijn aan de indeling van ruimten in laboratoriumklassen. Dat neemt uiteraard niet weg dat veel principes en beheersmaatregelen voor laboratoria wel degelijk toegepast zouden kunnen worden bij andere toepassingsgebieden.

Dit rapport valt in drie delen uiteen. In het eerste deel, het eigenlijke onderzoeksrapport, doen de onderzoekers verslag van het onderzoek. Hoofdstuk 2 van het rapport behandelt de methoden van het onderzoek, namelijk een enquête onder vergunninghouders, literatuuronderzoek en modelberekeningen. De resultaten van de enquête, het literatuuronderzoek en de modelberekeningen worden in grote lijn beschreven in hoofdstuk 3. Voor het belangrijkste resultaat van dit onderzoek, namelijk een voorstel voor een leidraad voor handelingen met radioactieve stoffen in laboratoria, wordt verwezen naar Bijlage I. Een discussie van de resultaten, met onder meer een vergelijking met eerdere richtlijnen en praktische consequenties, komt aan bod in hoofdstuk 4. Hoofdstuk 5 sluit het rapport af met een aantal conclusies.

Bijlage I is getiteld "Leidraad voor handelingen met radioactieve stoffen in laboratoria". Een gebruiker van open bronnen leest in hoofdstuk 1 van Bijlage I hoe een pakket beheersmaatregelen bij handelingen met open bronnen systematisch kan worden samengesteld. De gedetailleerde beschrijvingen van beheersmaatregelen in hoofdstuk 1 zijn ontleend aan de hierboven genoemde publicaties, maar met een aantal nuancerings van de auteurs van dit rapport en op een andere wijze gegroepeerd. In hoofdstuk 2 van Bijlage I wordt aangegeven hoe het evenwicht tussen de risico's en de beheersmaatregelen getoetst kan worden. Een aantal tabellen waarin getallen worden genoemd voor maximaal per bewerking te hanteren hoeveelheden in verschillende omstandigheden vormt hiervan de kern. De toelichting op de toetsing van beheersmaatregelen vindt de gebruiker in hoofdstuk 3 van Bijlage I. In dit hoofdstuk worden ook de belangrijkste aannamen van de modelberekeningen toegelicht, die van belang zijn voor een juiste toepassing van de toetsingscriteria.

De verantwoording van het model dat ten grondslag ligt aan toetsingscriteria is beschreven in bijlage II. Deze informatie is van belang voor beleidsmakers en voor gebruikers die geïnteresseerd zijn in de afleiding van de toetsingscriteria, of hieraan bijvoorbeeld aanpassingen willen aanbrengen. Bijlage II behandelt onder andere de onderwerpen: de gekozen dosisbeperkingen voor inhalatie, de berekening van transferfracties, de keuze van parameterwaarden voor de berekeningen met het HARAS-model, vergelijking van chronische en incidentele blootstelling, en vergelijking van de toetsingscriteria met criteria uit bestaande richtlijnen.

2 Methoden

Dit hoofdstuk beschrijft de gebruikte methoden van het onderzoek. Het onderzoek valt in drie delen uiteen: onderzoek van een aantal praktijkgegevens door middel van een enquête onder vergunninghouders, onderzoek van de gebruikelijk stralingshygiënische praktijk door het analyseren van de bestaande richtlijnen, en de opstelling van nieuwe toetsingscriteria voor maximaal te hanteren hoeveelheden radioactieve stoffen met behulp van het luchtverspreidingsmodel HARAS.

2.1 Enquête onder vergunninghouders

Ter ondersteuning van het onderzoek is een aantal praktijkgegevens met betrekking tot handelingen met radioactieve stoffen verzameld door middel van een enquête. Deze enquête is verspreid onder 24 instellingen in Nederland met een vergunning voor het verrichten van handelingen met radioactieve stoffen, waarvan zes bedrijven, zeven universitaire instellingen en elf ziekenhuizen. De inventarisatie betrof twee aspecten: kenmerken van de handelingen die verricht worden, en gegevens rond afwijkingen van de bedoelde procedure ("incidenten").

De gevraagde informatie omtrent de handelingen die verricht worden, zoals soort en hoeveelheid toegepaste radioactieve stof en de lokale ventilatievoorzieningen, was in principe bij radionuclidenlaboratoria beschikbaar, vanwege de verplichting tot het berekenen van de belastingsfactor. Door middel van een formulier werd tevens gevraagd elke handeling te classificeren naar fysische vorm en type bewerking, in een aantal categorieën die wat afwijken van de gebruikelijke indeling. De bij de enquête gevoegde lijst met de indeling van een aantal veelvoorkomende handelingen was daarbij behulpzaam. Er is niet gevraagd naar grootte van de instituten en aantal medewerkers.

Voor de te ontwikkelen methodiek was het van belang een juist beeld te hebben van welke afwijkingen van de bedoelde procedure in de praktijk voorkomen, en met welke frequentie. In de enquête werd niet alleen gevraagd naar de grotere incidenten, die gemeld worden aan de Arbeidsinspectie, maar juist ook naar onbedoelde gebeurtenissen zoals kleine besmettingen, die vaak intern opgelost worden. De enquête richtte zich niet op onbedoelde gebeurtenissen met uitsluitend gevolgen voor het milieu (onbedoelde lozingen op het riool of in de buitenlucht). De onbedoelde gebeurtenis waren ingedeeld in 6 groepen.

Tabel 1. Groepen onbedoelde gebeurtenissen

type onbedoelde gebeurtenis
breuk, kapot springen onderdelen
lekkage
uitvallen ventilatie
morsen tijdens handeling
aanraken besmette onderdelen
procedurefouten

In de enquête werd tevens gevraagd de frequentie van onbedoelde gebeurtenis per groep aan te geven. Daarbij werd gekozen uit de in Tabel 2 vermelde omschrijvingen.

Tabel 2. Omschrijvingen frequenties onbedoelde gebeurtenissen

Omschrijving
een paar keer per dag
een paar keer per week
een paar keer per maand
een paar keer per jaar
een paar keer per 10 jaar
een paar keer per 100 jaar
nooit

Uit verschillende werkvelden werd een aantal voorbeelden gegeven om het invullen van de enquête te vergemakkelijken.

2.2 Bronnen van de gebruikelijke stralingshygiënische praktijk

De maatregelen die genomen worden om chronische blootstelling bij handelingen met open bronnen zo veel mogelijk te vermijden en de kans op incidentele blootstellingen tot aanvaarde proporties te beperken zijn zeer divers. Opsommingen van dergelijke maatregelen passend bij een "goede stralingshygiënische praktijk" zijn ontleend aan stukken van de overheid [1] en aan diverse leerboeken, welke gebruikt worden bij de opleidingen tot stralingsdeskundige (zie bijvoorbeeld [2]).

Gebruikelijk is om het pakket aan maatregelen, ofwel het stralingshygiënisch regime, af te stemmen op de voorkomende typen handelingen en de grootte van de (potentiële) blootstellingen, en dit te koppelen aan de classificatie van de betreffende werkplek. Omgekeerd worden voor een gegeven regime voorwaarden gesteld aan het type handelingen dat daar mag plaatsvinden.

Een tweede beperking voor het werken met radioactieve stoffen, die wordt ontleend aan de gebruikelijke praktijk, betreft de maximaal aanwezige hoeveelheid radioactieve stoffen onder een gegeven stralingshygiënisch regime. De maximaal aanwezige hoeveelheid onder het zwaarste regime (B-laboratorium) genoemd in de Bijlage Radionuclidenlaboratoria bedraagt 20000 Re. Daarbij wordt verondersteld dat het meest belastende scenario het uitbreken van brand betreft. De gevolgen van het scenario brand in een radionuclidenlaboratorium worden doorgerekend in het rapport "Maatgevende scenario's voor ongevallen met categorie B-objecten", opgesteld door NRG in opdracht van VROM [4].

2.3 Samenstellen eenvoudige rekenregel uit het HARAS-model

In de Bijlage Radionuclidenlaboratoria wordt een rekenregel gegeven waarmee de maximaal te hanteren hoeveelheid radioactieve stoffen kan worden bepaald op grond van het type bewerking en de beschermende voorzieningen, met name de ventilatie. In het HARAS-rapport worden een aantal tekortkomingen van deze rekenregel aangegeven. In dit onderzoek is daarom het HARAS-model gebruikt voor het berekenen van de fractie radioactieve stof die wordt geïnhaleerd door de direct betrokken medewerker. De berekeningen zijn uitgevoerd met de volgende variabelen:

- vijf mogelijke typen bewerkingen,
- zeven categorieën voor de fysische vorm van de gehanteerde stoffen,
- vier typen specifieke afzuigvoorzieningen,
- binnen laboratoriumomgeving of daarbuiten,
- vier scenario's met betrekking tot het verloop van de handelingen (normale routine en drie scenario's met een afwijkend verloop), plus het scenario uitval ventilatie

De combinaties van type bewerkingen en specifieke afzuigvoorziening, die conform de voorwaarden uit de Bijlage Radionuclidenlaboratoria worden uitgesloten, zoals het uitvoeren van spattende bewerkingen zonder specifieke afzuigvoorzieningen, zijn niet in de berekeningen meegenomen.

Door afronding van de berekende transferfracties op machten van 10, en selectie van het meest beperkende scenario (d.w.z. het scenario met de grootste transferfractie) zijn de resultaten gegroepeerd voor de zeven categorieën voor de fysische vorm, en elf combinaties van type bewerking en specifieke

afzuigvoorziening. De transferfractie voor het meest beperkende scenario kan zodoende benaderd worden als een macht van 10, waarbij slechts twee parameters de grootte van deze benaderde transferfractie bepalen.

Uit de benaderde transferfractie en een keuze van een norm voor de maximaal te aanvaarden dosis door inhalatie bij een enkele (de meest beperkende) incidentele blootstelling volgt de maximaal te hanteren hoeveelheid radioactieve stof. De in dit rapport gekozen norm bedraagt 1 mSv als het een B-laboratorium betreft, en 0,1 mSv in andere laboratoria. Voor een onderbouwing van deze keuze wordt verwezen naar paragraaf 4.1.

3 Resultaten

Dit hoofdstuk beschrijft in het kort de resultaten van de enquête onder vergunninghouders, van het onderzoek naar de gebruikelijke stralingshygiënische praktijk en van de berekeningen met de van HARAS afgeleide rekenregel. Deze resultaten zijn gecombineerd tot een voorstel voor een leidraad voor handelingen met radioactieve stoffen (zie bijlage 1) die de bestaande richtlijn zou kunnen vervangen.

3.1 Samenvatting resultaten van de enquête

Van de verspreide enquêtes werden 8 volledig en binnen de gestelde termijn geretourneerd. De gegevens waren afkomstig van 2 afdelingen nucleaire geneeskunde, 5 wetenschappelijke onderzoeksinstituten en 1 bedrijf. In totaal zijn 120 handelingen, onderverdeeld in 406 bewerkingen beschreven.

De variatie in de antwoorden op de vraag naar het aantal handelingen dat per jaar wordt uitgevoerd en de tijdsduur die één handeling duurt was groot. Aan de ene kant zijn beschreven handelingen vaak erg simpel en bestaan ze uit 1 bewerking (bijvoorbeeld injecteren) aan de andere kant worden handelingen van enkele dagen beschreven, met lange chemische reacties en bestaande uit verschillende bewerkingsstappen (bijvoorbeeld het meten van calcium flux van water naar vissen). Het aantal handelingen dat per jaar wordt uitgevoerd is vanzelfsprekend sterk afhankelijk van deze tijdsduur. Het aantal handelingen per instelling varieerde van enkele duizenden tot meer dan honderdduizend per jaar.

Bij het verwerken van de resultaten is gebleken dat dezelfde handelingen die bij verschillende instituten worden verricht, verschillend worden ingedeeld. Dit betreft enerzijds verschillen in classificatie van het type bewerking; zo wordt vortexen door sommige instituten als spattende, en door andere instituten als rustige bewerking aangeduid. Anderzijds betreft het verschillen in classificatie van de fysisch-chemische vorm van een stof; zo wordt het toedienen van MIBG door sommige instituten als niet vluchtig nuclide ingedeeld en door anderen als waterige vloeistof.

In de enquête zijn 19 verschillende radioactieve stoffen genoemd waar mee wordt gewerkt. Kenmerkend voor afdelingen nucleaire geneeskunde zijn Tc-99m, Tl-201 en I-131. Voor wetenschappelijke onderzoeksinstituten en het bedrijf zijn dit H-3, C-14, P-32 en I-125.

Voor meer dan de helft van ruim 400 beschreven bewerkingen is de toegepaste activiteit minder dan de vrijgavegrens uit het Besluit Stralingsbescherming. Dit betreft met name bewerkingen met H-3 en C-14, en in mindere mate met I-125.

Onbedoelde gebeurtenissen

Voorbeelden van in de enquête genoemde gebeurtenissen binnen de groep "kapot springen onderdelen" waren:

- Knappen van buisje in de centrifuge
- Glasbreuken in vials
- Kapot vallen van spuit door breken van draagbak
- Stukspringen van slangen

De instellingen geven aan dat deze gebeurtenissen een paar keer per jaar tot een paar keer per 10 jaar voorkomen.

Voorbeelden van in de enquête genoemde gebeurtenissen binnen de groep "lekkage" waren:

- Lekkage van spuiten
- Lekkage van met vloeistof gevulde fantomen
- Losraken van slangen
- Verstopping en lekkages van afvoeren
- Tijdens opkoken open raken van reactievaatjes

De instellingen geven aan dat deze gebeurtenissen een paar keer per jaar tot een paar keer per 10 jaar voorkomen.

Voorbeelden van in de enquête genoemde gebeurtenissen binnen de groep "uitvallen ventilatie" waren:

- Uitval van ventilatie door fouten bij bouwwerkzaamheden
- Uitval door technische storingen in het ventilatiesysteem
- Uitval tijdens onderhoud aan het ventilatiesysteem

De instellingen geven aan dat deze gebeurtenissen een paar keer per jaar tot een paar keer per 100 jaar voorkomen.

Voorbeelden van in de enquête genoemde gebeurtenissen binnen de groep "morsen" waren:

- Fouten bij injecteren in HPLC apparatuur
- Spatten bij pipetteer werkzaamheden
- Uit de handen laten vallen van reactievaatjes
- Morsen bij het verwijderen van naalden
- Het uit de spuit trekken van de stamper

De instellingen geven aan dat deze gebeurtenissen een paar keer per maand tot een paar keer per jaar voorkomen.

Voorbeelden van in de enquête genoemde gebeurtenissen binnen de groep "aanraken besmette onderdelen" waren:

- Het beetpakken van besmette onderdelen
- Schoonmaken zonder handschoenen
- Met een mouw tegen een proefopstelling strijken
- In aanraking komen met de (actieve) urine van een patiënt
- Het aanpakken van besmet verpakkingsmateriaal

De instellingen geven aan dat deze gebeurtenissen een paar keer per maand tot een paar keer per jaar voorkomen.

Voor alle hierboven genoemde groepen was de spreiding in antwoorden beperkt tot maximaal drie aansluitende frequentiecategorieën. Hieruit is de gemiddelde frequentie geschat. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 10 van de voorgestelde leidraad. Voor de groepen onbedoelde gebeurtenissen "kapot springen onderdelen", "lekkage", "morsen" en "uitval ventilatie" is de mogelijke blootstelling door inhalatie berekend ter bepaling van de maximaal te hanteren hoeveelheden. Van de groep gebeurtenissen "aanraken besmette onderdelen" is aangenomen dat deze niet relevant is voor de mogelijke blootstelling door inhalatie.

Voorbeelden van in de enquête genoemde gebeurtenissen binnen de groep "procedurefouten" waren:

- Het deponeren van RA afval in niet RA afval zakken/ vaten
- Het niet controleren op besmettingen na het beëindigen van de werkzaamheden
- Openen van apparatuur voordat deze tot stilstand is gekomen

De door de instellingen aangegeven frequentie voor deze laatste groep gebeurtenissen lopen uiteen van "nooit" tot "een paar keer per week". Dit geeft aan dat de vraag naar deze groep gebeurtenissen waarschijnlijk zeer verschillend is geïnterpreteerd door de verschillende instellingen. Ook deze laatste categorie is verder niet meegenomen bij de berekening van de mogelijke blootstelling door inhalatie.

3.2 Indeling toegestane handelingen per laboratoriumklasse

De gebruikelijke praktijk gaat uit van een indeling van typen bewerkingen in vier risicoklassen. Aan elke risicoklasse wordt een waarde voor de verspreidingsparameter p toegekend, waarbij p varieert van -1 (laag risico) tot -4 (hoog risico).

Voor de 22 combinaties van type bewerking en fysisch-chemische vorm zoals gebruikt in de enquête en in de voorgestelde leidraad werd een koppeling gemaakt met de indeling in vier risicoklassen volgens de gebruikelijke praktijk. Zo worden vervluchtigen en spattende werkingen allen gekoppeld aan de klasse met het hoogste risico, tenzij het een bewerking met een vloeistof betreft waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost. Ook stoffige bewerkingen en bewerkingen met een gas vallen in de klasse met het hoogste risico. Voorbeelden van bewerkingen die in de laagste risicoklasse vallen zijn rustige bewerkingen en bewerkingen in een gesloten systeem met een vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost. Een compleet overzicht van de indeling van bewerkingen in risicoklassen is te vinden in de voorgestelde leidraad (zie Tabel 8).

De bewerkingen uit de hogere risicoklassen worden alleen toegestaan als de werkplek en specifieke afzuigvoorzieningen aan bepaalde voorwaarden voldoen. Op grond van deze voorwaarden wordt bijvoorbeeld het uitvoeren van spattende bewerkingen op de laboratoriumtafel zonder specifieke afzuigvoorziening uitgesloten. Hoewel er voor deze voorwaarden geen expliciete onderbouwing bekend is, worden ze in dit rapport overgenomen in de veronderstelling dat ze enerzijds de risico's helpen beperken en anderzijds niet tot praktische bezwaren leiden, omdat deze voorwaarden zijn ontleend aan de reeds bestaande richtlijnen.

3.3 Maximaal te hanteren hoeveelheid per laboratoriumklasse

Bij het doorrekenen van het scenario brand (zie [4]) wordt er van uitgegaan dat het meest beperkende scenario niet de verspreiding van de voorraad radioactieve stoffen in de bergplaats is, maar verspreiding van de maximaal te hanteren werkvoorraad in het laboratorium. De reden hiervoor is dat er speciale eisen aan de bergplaats worden gesteld met betrekking tot de brandwerendheid. De mogelijkheid van verspreiding van de radioactieve stoffen opgeslagen in de bergplaats is daarom slechts aannemelijk als het scenario brand samenvalt met een andere de onbedoelde gebeurtenis, namelijk het open laten staan van de deur van de bergplaats.

Dit geldt niet voor de maximaal te hanteren werkvoorraad aanwezig in het laboratorium. Volgens de bestaande richtlijn bedraagt deze te hanteren werkvoorraad maximaal 2000 Re voor een B-laboratorium. Op basis van berekende maximale besmettingsniveaus wordt geconcludeerd dat een brand in een radionucliden-laboratorium tot hooguit een lokaal incident gerekend mag worden.

Op basis van deze beschouwingen lijkt het stellen van een maximaal te hanteren hoeveelheid in een B-laboratorium in de orde van 2000 Re redelijk. Om praktische redenen wordt in dit rapport gewerkt met begrenzingen van hoeveelheden in machten van 10. De maximaal te hanteren hoeveelheid in een B-laboratorium wordt aldus gesteld op 1000 Re. Vervolgens wordt de niet nader onderbouwde regel overgenomen, dat voor de opeenvolgende lichtere regimes de maximaal te hanteren hoeveelheid steeds een factor 100 afneemt. In een nevenruimte is de maximaal te hanteren hoeveelheid één tiende van dat in een D-laboratorium. In de voorgestelde leidraad bedraagt de maximaal te hanteren hoeveelheid dus achtereenvolgens in een C-laboratorium 10 Re, in een D-laboratorium 0,1 Re en in een nevenruimte 0,01 Re.

Het overnemen van de verhoudingen van maximaal te hanteren hoeveelheden bij de verschillende laboratoriumklassen heeft als bijkomend voordeel dat maatregelen ter beperking van de verspreiding van radioactieve stoffen via oppervlaktebesmettingen conform de gebruikelijke praktijk worden afgestemd op de gehanteerde hoeveelheden. In de bestaande richtlijnen is echter geen onderbouwing te vinden waarmee een direct verband tussen het beperken van het verspreiden van oppervlaktebesmettingen en de genoemde maximaal te hanteren hoeveelheden aannemelijk kan worden gemaakt.

Bij het toepassen van de bovengenoemde regel speelt de specifieke afzuigvoorziening geen rol. Met andere woorden, de afhankelijkheid van de maximaal te hanteren hoeveelheid van de zogenoemde

lokale ventilatieparameter r uit de bestaande richtlijn wordt in deze regel niet meegenomen. Dit is logisch omdat de beschermende werking van deze voorzieningen bij het beschouwde scenario brand niet meer van toepassing is.

Ondanks de zeer lage waarschijnlijkheid van optreden zijn ook de gevolgen van mogelijke verspreiding van de voorraad radioactieve stoffen in de bergplaats nagegaan (zie [4]). Bij een maximale voorraad van 20.000 Re leidt dit scenario niet tot onacceptabel grote gevolgen. In de voorgestelde leidraad wordt deze maximale voorraad gesteld op 10.000 Re, om de praktische redenen zoals hierboven omschreven. Uitgaande van het feit dat de eisen met betrekking tot brandwerendheid van de bergplaats identiek zijn voor alle categorieën laboratoria, wordt er in de voorgestelde leidraad geen specifieke beperking gesteld per klasse laboratorium. In de praktijk zal de maximaal aanwezige voorraad in een instelling beperkt worden op grond van hetgeen de instelling maximaal nodig heeft blijkens de gegevens in aanvraag van de kernenergiewetvergunning.

3.4 Blootstelling door inhalatie bij bewerkingen

De berekeningen met het HARAS-model zijn gebruikt voor de onderbouwing van de maximaal te hanteren hoeveelheden in verband met mogelijke blootstelling door inhalatie bij bewerkingen. Voor deze berekening is een eenvoudige rekenregel ontwikkeld, die even eenvoudig is toe te passen als de rekenregel uit de bestaande richtlijnen.

De maximaal te hanteren hoeveelheid radioactieve stof is met behulp van de eenvoudige rekenregel bepaald voor verschillende combinaties handelingen, specifieke afzuigvoorzieningen en type ruimten. De resultaten zijn gecombineerd met de beperking op basis van de laboratoriumklasse zoals hierboven beschreven. De meest beperkende voorwaarde levert uiteindelijk de maximaal te hanteren hoeveelheid. Deze gecombineerde resultaten zijn per laboratoriumklasse in de voorgestelde leidraad opgenomen in tabelvorm (zie Tabel 4 tot en met Tabel 7).

Eenzijds kunnen deze resultaten gebruikt worden om de maximaal te hanteren hoeveelheid te bepalen op basis van een gegeven type handeling en de aanwezige voorzieningen. Anderzijds kunnen de resultaten worden toegepast om bij gegeven hoeveelheid radioactieve stof en type handeling het minimum aan voorzieningen te bepalen. De tabellen kunnen ook direct gebruikt worden in een proces van optimalisatie van de maatregelen ter beperking van de inhalatie van radioactieve stoffen.

In het geval van het D-laboratorium en buiten een laboratorium wordt de maximaal te hanteren hoeveelheid vrijwel uitsluitend bepaald door het gestelde maximum op grond van de laboratoriumklasse (0,1 Re respectievelijk 0,001 Re). Dat betekent dat de blootstelling door inhalatie bij de toegestane bewerkingen in deze werkplekken volgens de voorgestelde leidraad in feite niet relevant is. Voor bewerkingen in B- en C-laboratoria is deze vorm van blootstelling in meer gevallen relevant, met name bij bewerkingen met nucliden in een makkelijk verspreidbare vorm, of bij bewerkingen met beperkte specifieke afzuigvoorzieningen.

4 Discussie

Dit hoofdstuk geeft de verschillen aan tussen de voorgestelde leidraad en de eerdere richtlijnen, bespreekt de consequenties van eventuele invoering van de leidraad voor de praktijk en gaat in op de aansluiting met andere richtlijnen.

4.1 Verschillen met eerdere richtlijnen

Door het toepassen van het HARAS-model zijn de maximaal te hanteren hoeveelheden gebaseerd op een goed gedocumenteerd model. De eigenschappen van de te hanteren stoffen en de ventilatievoorzieningen worden in het model beschreven door parameters die in de praktijk controleerbaar zijn. Daarmee hebben de voorwaarden voor de te nemen maatregelen in de voorgestelde leidraad een veel betere onderbouwing dan die in de bestaande richtlijnen.

Terwijl de bestaande richtlijnen uitgaan van een continue blootstelling door inhalatie tijdens routinehandelingen, gaat de voorgestelde leidraad uit van beperking van incidentele blootstellingen. Dit is in lijn met de conclusies uit het HARAS-rapport, namelijk dat de incidentele blootstellingen bepalend zijn bij handelingen met radioactieve stoffen. Met deze benadering wordt invulling gegeven aan de bepaling dat ook potentiële blootstellingen zo klein als redelijkerwijs mogelijk gehouden moeten worden (artikel 5.2 uit het Besluit Stralingsbescherming).

In de voorgestelde leidraad wordt een expliciete keuze gemaakt voor een norm voor de maximale blootstelling door inhalatie voor een medewerker die direct betrokken is bij een afwijkende gebeurtenis tijdens een handeling met radioactieve stoffen. Gesteld wordt dat de maximale blootstelling bij een enkele gebeurtenis in een B-laboratorium 1 mSv bedraagt, en 0,1 mSv in alle andere omgevingen. Het verschil tussen deze norm in een B-laboratorium en de andere omgevingen kan worden gemotiveerd door te stellen dat een hogere dosisnorm past bij het zwaardere stralingshygiënisch regime. Onder dit zwaardere regime mag verondersteld worden dat met behulp van de aanwezige kennis en toezicht en de technische en bouwkundige voorzieningen de gevolgen van ook wat zwaardere incidenten effectief bestreden kunnen worden. De blootstelling ten gevolge van een enkele gebeurtenis wordt beperkt tot ca. één tiende van de jaardosislimiet voor blootgestelde werknemers, omdat er mogelijk nog meer vormen van blootstelling optreden.

De indeling van handelingen in risicoklassen gebeurt in de voorgestelde leidraad op een iets andere manier. In de voorgestelde leidraad wordt er van uitgegaan dat een handeling kan zijn opgebouwd uit meerdere bewerkingen. Er is een duidelijk onderscheid gemaakt tussen enerzijds het type bewerking, en anderzijds de fysisch-chemische vorm van de gehanteerde radioactieve stof. Daarnaast is er een duidelijke scheiding gemaakt tussen de beschrijving van de verschillende typen bewerkingen en voorbeelden. Het voordeel van de voorgestelde leidraad is dat de beschrijvingen van de bewerkingen eenduidiger zijn, en daarmee de kans op een verkeerde indeling kleiner. Bij nieuwe toepassingen hoeft alleen de lijst met voorbeelden van indeling aangepast te worden. De categorieën voor type bewerkingen blijft dan hetzelfde, zodat de continuïteit van de voorgestelde leidraad beter gewaarborgd is.

Het HARAS-rapport liet reeds zien dat de verschillen in blootstelling afhankelijk van het type handeling en de fysisch-chemische vorm veel groter zijn dan in de bestaande richtlijn wordt aangenomen. In de bestaande richtlijn bedraagt de verhouding tussen de gunstigste handeling en de minst gunstige handeling een factor 1000. In de voorgestelde leidraad is deze verhouding veel groter, namelijk een factor 10^8 .

Voor het werken in een gesloten werkkast of isolator ontbreken onderbouwde parameters voor toepassing in het HARAS-model. In tegenstelling tot de bestaande richtlijn bevat de voorgestelde leidraad daarom geen gegevens voor maximaal te hanteren hoeveelheden in een isolator. Bij normaal gebruik is de werknemer volledig gescheiden van de radioactieve stoffen binnen de isolator. Daarom mag in het kader van optimalisatie verondersteld worden dat een isolator een betere bescherming biedt dan een gekeurde zuurkast.

Bewerkingen met hoeveelheden die groter zijn dan wat maximaal mag worden toegepast in een gekeurde zuurkast komen maar in een beperkt aantal instellingen in Nederland voor. Als deze bewerkingen in een isolator worden uitgevoerd, moet in een specifieke risicoanalyse aannemelijk gemaakt worden dat de blootstellingen bij falen van de isolator of bij procedurefouten tot een aanvaardbaar niveau worden beperkt. Als de risicoanalyse dat aantoon mag verondersteld worden dat deze voorziening geschikt is voor alle typen bewerkingen tot aan de maximaal te hanteren hoeveelheid radioactieve stoffen in de betreffende laboratoriumklasse.

In het HARAS-rapport werd al geconcludeerd dat de bestaande richtlijn het verschil tussen het werken in een goede, of gekeurde, zuurkast en het werken zonder specifieke afzuigvoorziening onderschat. In de bestaande richtlijnen wordt een beschermend effect van een factor 100 verondersteld, terwijl het HARAS-model laat zien dat dit eerder een factor 10.000 bedraagt. De voorgestelde leidraad neemt deze laatste factor over, zodat het verschil in voorzieningen meer realistisch wordt behandeld.

In de bestaande richtlijn wordt geen onderscheid gemaakt tussen het beschermende effect van een "gewone zuurkast" en andere vormen van "plaatselijke afzuiging", zoals een afzuigpijp. Beide worden verondersteld een beschermingsniveau te bieden dat een factor 10 lager is dan dat van een "goede

zuurkast", d.w.z. een zuurkast die is typegekeurd volgens de geldende normering. In het HARAS-rapport wordt aannemelijk gemaakt dat deze veronderstelling geldig is in het geval van een "gewone zuurkast". Echter, het daadwerkelijke effect van een afzuigpijp is sterk afhankelijk van het gebruik in de praktijk. In de voorgestelde leidraad zijn daarom aangepaste parameters gekozen voor het geval afzuigpijp, wat leidt tot een beschermingsniveau dat een factor 1000 minder is dan van een "goede zuurkast".

Een belangrijke conclusie uit het HARAS-rapport was dat het ventilatievoud van de ruimte slechts een zeer beperkte invloed heeft op de blootstelling door inhalatie. Bij het opstellen van de leidraad is daarom als uitgangspunt gekozen dat het ventilatievoud van een laboratoriumruimte 5 h^{-1} bedraagt, in tegenstelling tot de eis van een minimaal ventilatievoud van 8 h^{-1} , zoals wordt gesteld in de bestaande richtlijn. Het ventilatievoud van 5 h^{-1} is ontleend aan hetgeen voldoende wordt geacht voor een normaal laboratorium volgens AI-18 "Laboratoria". Zoals te verwachten op grond van het HARAS-model heeft de verlaging van de eis aan het ventilatievoud van de ruimte geen praktische consequenties voor de berekening van de maximaal te hanteren hoeveelheden.

Om praktische redenen, namelijk de vereenvoudiging van een aantal tabellen, wordt in dit rapport gewerkt met begrenzingen van maximaal aanwezige en te hanteren hoeveelheden in machten van 10. In de bestaande richtlijn levert de eenvoudige rekenregel hoeveelheden als 2 maal machten van 10, omdat de limiet voor blootgestelde medewerkers (20 mSv) in de formule is ingebouwd. In een aantal gevallen leidt deze keuze tot reductie van maximaal te hanteren hoeveelheden met een factor 2.

In de voorgestelde leidraad wordt geen maximum aangegeven voor de hoeveelheid radioactieve stoffen die mag worden toegepast als er meerdere bewerkingen tegelijkertijd binnen één laboratorium plaatsvinden. Dit in tegenstelling tot de bestaande richtlijn, waarin de tegelijkertijd toegepaste hoeveelheid wordt beperkt door middel van de belastingsfactor. Deze keuze is gemaakt omdat met behulp van het HARAS-model kan aangetoond worden dat de blootstelling door inhalatie bij handelingen alleen relevant is voor de direct betrokken medewerker.

Vanwege het ontbreken van een maximum hoeveelheid radioactieve stoffen bij het tegelijkertijd uitvoeren van meerdere bewerkingen zou de hoeveelheid die vrij kan komen bij een brand in het laboratorium in theorie kunnen oplopen tot maximaal 10.000 Re (de maximale voorraad opgeslagen in de bergplaats). In dat geval zijn de gevolgen van een brand in een C- of D-laboratorium dus gelijk aan die van een brand in een B-laboratorium.

De gevolgen van het scenario brand in een laboratorium met deze hoeveelheden worden voor een B-laboratorium beschouwd als aanvaardbaar. Dat hoeft echter niet te betekenen dat dezelfde gevolgen in het geval van een C- of D-laboratorium automatisch ook worden aanvaard.

Als er redenen zijn om dezelfde gevolgen niet te accepteren in het geval van brand in de lagere klassen laboratoria, dan zou het het meest praktisch zijn om voor deze laboratoria lagere maxima voor de totaal aanwezige voorraad radioactieve stoffen voor te schrijven. In de voorgestelde leidraad wordt dit niet gedaan, omdat verondersteld wordt dat de maximaal in het laboratorium aanwezige hoeveelheid door het tegelijkertijd toepassen van maximale hoeveelheden binnen één laboratoriumruimte in de praktijk beperkt zal blijven tot een kleine fractie van het theoretische maximum. Bijvoorbeeld, in een C-laboratorium zouden 1000 bewerkingen met de maximaal te hanteren hoeveelheid van 10 Re tegelijkertijd moeten plaatsvinden om het theoretische maximum te bereiken. Bovendien zal in de praktijk de maximale hoeveelheid aanwezig in het laboratorium worden beperkt door de voorwaarden van de kernenergiewetvergunning. Deze voorwaarden worden door de overheid opgesteld op basis van wat de aanvrager in de aanvraag onderbouwd aangeeft nodig te hebben aan voorraad radioactieve stoffen. Uitgaande van de resultaten uit de enquête zal dat in het algemeen veel minder zijn dan het maximum van 10.000 Re.

4.2 Consequenties voor de praktijk

Voor implementatie van de voorgestelde leidraad is het nodig dat gebruikers (vergunninghouders) de handelingen met radioactieve stoffen opnieuw indelen in de nieuwe categorieën bewerkingen. Met name voor bestaande toepassingen levert dit eenmalig extra werk op, omdat de handelingen reeds zijn ingedeeld op basis van de indeling van de bestaande richtlijn. De hoeveelheid werk is echter beperkt, omdat de vergunninghouders de inventarisaties van handelingen reeds beschikbaar hebben vanwege de verplichting tot het berekenen van de belastingsfactor op grond van de bestaande richtlijn. Het

indelen van de handelingen in de nieuwe categorieën bewerkingen wordt vergemakkelijkt door de geleverde voorbeeldtabellen.

Het belang van de in de voorgestelde leidraad opgenomen tabel van de indeling van veelvoorkomende bewerkingen is onder meer duidelijk geworden uit de resultaten van de enquête, omdat is gebleken dat het indelen van bewerkingen in categorieën niet altijd op een consistente manier gebeurt. Overigens blijft het voor sommige gebruikers lastig om de fysisch- chemische vorm van een stof juist in te delen, omdat dit een gedegen kennis vraagt van de soms vele verschillende (chemische) stappen in een proces.

Door de diverse verschillen in benadering die ten grondslag liggen aan de berekening van de maximaal te hanteren hoeveelheid radioactieve stoffen in de bestaande richtlijn enerzijds en in de voorgestelde leidraad anderzijds, neemt bij gegeven handelingen en omstandigheden de maximaal te hanteren hoeveelheid in een aantal gevallen toe, en in een aantal gevallen juist af.

In het algemeen kan gesteld worden dat de invloed van de specifieke afzuigvoorziening toeneemt, en de invloed van het type laboratorium afneemt, met name bij het werken met vluchtige nucliden. Dit past goed bij de arbeidshygiënische strategie, waarbij de voorkeur wordt gegeven aan maatregelen dicht bij de bron. Bijvoorbeeld: volgens de voorgestelde leidraad mag er in een C-laboratorium in een gewone zuurkast met meer activiteit worden gewerkt dan in een B-laboratorium onder een afzuigpijp. Dit in tegenstelling tot de bestaande richtlijn, waar dit juist andersom was.

Anderzijds heeft de specifieke afzuigvoorziening volgens de voorgestelde leidraad geen toegevoegde waarde bij bijvoorbeeld rustige bewerkingen met niet-vluchtige nucliden. De maximaal te hanteren hoeveelheid wordt dan uitsluitend bepaald door het stralingshygiënisch regime (B-, C- of D-laboratorium).

Bewerkingen waarvoor de maximaal te hanteren hoeveelheid toeneemt betreffen met name de bewerkingen met niet-vluchtige nucliden en met vaste stoffen. In het geval van een B-laboratorium of C-laboratorium kan de maximaal te hanteren hoeveelheid voor dit type bewerkingen toenemen met een factor 5000, respectievelijk 500. Dit zijn echter vrij zeldzame typen bewerkingen.

Bewerkingen waarvoor de maximaal te hanteren hoeveelheid juist afneemt betreffen de bewerkingen met vluchtige nucliden met goede specifieke afzuigvoorzieningen, en bewerkingen met gesloten systemen zonder goede specifieke afzuigvoorzieningen. Dit komt doordat verondersteld wordt dat de blootstelling wordt bepaald door incidentele blootstelling, namelijk bij uitval van de ventilatie, respectievelijk bij breuk van het gesloten systeem. De maximaal te hanteren hoeveelheden in B- en C-laboratoria nemen voor dit type bewerking af met een factor 20. Onder dit type bewerking vallen ook een aantal vrij veel voorkomende bewerkingen, zoals het optrekken van spuit met waterige vloeistoffen. Als dit type bewerkingen wordt uitgevoerd met relatief grote hoeveelheden (meer dan 0,01 Re) dan kunnen deze bewerkingen volgens de voorgestelde leidraad niet meer zonder specifieke afzuigvoorzieningen uitgevoerd worden.

Voor handelingen in een D-laboratorium en buiten laboratoriumbeheer heeft implementatie van de voorgestelde leidraad praktisch geen consequenties. Dat komt doordat de maximaal te hanteren hoeveelheden in deze typen werkplekken worden bepaald door de begrenzing op grond van de maxima uit de bestaande richtlijn, en niet door de begrenzing op grond van de begrenzing van de inhalatie berekend met het HARAS-model. In veel gevallen ligt de maximaal te hanteren hoeveelheid in de voorgestelde leidraad een factor 2 onder die van de bestaande richtlijn. Dit komt omdat in de voorgestelde leidraad de beperkingen zijn weergegeven als de dosisbeperking voor incidentele blootstellingen (1 mSv) vermenigvuldigd met machten van tien. In de bestaande richtlijn zijn de beperkingen weergegeven de jaardosislimiet voor blootgestelde werknemers (20 mSv) vermenigvuldigd met machten van tien. Gezien de kleine hoeveelheden die, blijkens de resultaten van de enquête, in het algemeen worden toegepast, zal dit in de praktijk weinig consequenties hebben.

De voorgestelde leidraad gaat uit van een ventilatievoud in de ruimte van 5 h^{-1} , terwijl dat in de bestaande richtlijn 8 h^{-1} bedraagt. Deze aanpassing heeft als voordeel dat aan de luchtbehandeling van een radionuclidenlaboratorium dezelfde eisen worden gesteld als aan dat van een normaal chemisch laboratorium (standaardisatie). Daarnaast betekent dit voor laboratoria met een groot volume en weinig

(ingeschakelde) zuurkasten een voordeel met betrekking tot energieverbruik, omdat er minder lucht verplaatst en geconditioneerd hoeft te worden.

4.3 Aansluiting met overige richtlijnen

AGIS

De voorgestelde leidraad richt zich volledig op de arbeidshygiënische aspecten van handelingen met radioactieve stoffen, omdat de milieu-aspecten al zijn geregeld in de ministeriële richtlijn Analyse Gevolgen Ioniserende Straling voor het milieu (AGIS).

De nieuwe categorie-indeling in de voorgestelde leidraad bestaat uit 22 combinaties van typen bewerkingen en typen fysisch-chemische samenstelling van de gehanteerde radioactieve stof. In de bestaande richtlijn wordt gebruik gemaakt van de indeling van bewerkingen in risicoklassen met toekenning van een waarde voor de verspreidingsparameter p voor de berekening van de maximaal te hanteren hoeveelheid. Dezelfde verspreidingsparameter speelt een rol in de rekenregels voor emissie in het milieu volgens AGIS. In de voorgestelde leidraad wordt niet meer van deze verspreidingsparameter gebruik gemaakt voor het berekenen van de maximaal te hanteren hoeveelheid.

De categorie-indeling uit de bestaande richtlijn wordt nog wel gebruikt om te bepalen wat de minimale voorzieningen zijn voor een bepaald type bewerking (bijvoorbeeld: een gekeurde zuurkast voor spattende bewerkingen). Het koppelen van beide categorie-indelingen gebeurt op een eenduidige en gemakkelijke manier met behulp van een tabel die voor elke categorie bewerking van de voorgestelde leidraad de waarde voor de verspreidingsparameter p geeft. Deze waarde van de verspreidingsparameter kan vervolgens ook toegepast worden in de berekeningen van de gevolgen voor het milieu volgens de rekenregels van AGIS.

Radionuclidentherapie

Op een aantal punten is nagegaan in hoeverre de voorgestelde leidraad aansluit op de aanbevelingen voor radionuclidentherapie [5]. Therapeutische doses omvatten volgens deze aanbevelingen hoeveelheden radioactieve stoffen tot circa 90 Re. De grens tussen een hoge dosis en een lage dosis wordt getrokken bij ca. 5 Re, waarbij hoge een dosis in een toedieningskamer van een afdeling nucleaire geneeskunde wordt toegediend. In de voorgestelde leidraad gebeuren laboratoriumbewerkingen met hoeveelheden tussen 10 en 1000 Re in een B-laboratorium ofwel een gecontroleerde zone. Ruwweg komt een hoge dosis dus overeen met een laboratoriumbewerking die in een B-lab plaatsvindt.

In de aanbevelingen voor radionuclidentherapie is het uitgangspunt dat de blootstelling door inwendige besmetting (voor anderen dan de patiënt) maximaal 0,3 mSv is. Dit komt ruwweg overeen met de dosisbeperking van 0,1 mSv van deze leidraad. Echter, in de aanbevelingen radionuclidentherapie wordt aangenomen dat het belangrijkste blootstellingspad ingestie is, dit in tegenstelling tot de voorgestelde leidraad, waar wordt aangenomen dat het belangrijkste blootstellingspad inhalatie is. Overigens is het uit de aanbevelingen niet duidelijk hoe de berekening van de transferfractie voor ingestie berekend is.

In de aanbevelingen radionuclidentherapie wordt gesteld dat besmette kleding tot 50 kBq I-131, ofwel $5,5 \cdot 10^{-4}$ Re gewoon gewassen kan worden. Dit komt overeen met hoeveelheden die in de voorgestelde leidraad buiten het laboratorium gehanteerd kunnen worden (maximaal 10^{-2} Re).

De belangrijkste verschillen tussen de aanbevelingen radionuclidentherapie en de voorgestelde leidraad zijn voornamelijk te verklaren door het feit dat er in het eerste geval met patiënten wordt gewerkt, en er daarom minder mogelijkheden zijn voor het nemen van maatregelen uit de laboratoriumomgeving, zoals het toepassen van specifieke afzuigvoorzieningen. Zo zou het toedienen van een I-131 pil vergeleken kunnen worden met een laboratoriumbewerking met een gesloten systeem met een stoffige vaste stof. Volgens de voorgestelde leidraad zou dit sowieso in een zuurkast moeten gebeuren. Kennelijk wordt de blootstelling die het gevolg is van het eventueel vrijkomen van de radioactieve stof in het geval van radionuclidentherapie aanvaardbaar geacht, terwijl dat in een vergelijkbare situatie in een laboratorium niet het geval is. Ook zou het verschil in benadering verklaard kunnen worden doordat het vrijkomen van activiteit uit een gesloten systeem in een laboratorium in de voorgestelde leidraad als "normale afwijkende gebeurtenis" wordt beschouwd, d.w.z. er wordt van uit gegaan dat dit met enige regelmaat zal voorkomen, terwijl dit in de aanbevelingen radionuclidentherapie niet het geval is.

Transport

Het vervoeren van radioactieve stoffen buiten gecontroleerde en bewaakte zones gebeurt onder de bestaande regelingen voor transport van radioactieve stoffen, onder meer door te voldoen aan de gestelde verpakkingseisen. Dit geldt voor hoeveelheden radioactieve stof boven het vrijstellingsniveau, en voor voorwerpen met een oppervlaktebesmetting. Door middel van de controle van goederenstromen die de zonegrens passeren kan op een juiste toepassing van de vervoersregeling worden toegezien. Voor het vervoer binnen de inrichting gelden de procedures zoals deze door de ondernemer worden vastgesteld. Deze procedures worden bij de vergunningaanvraag meegenomen. Het transport van radioactieve stoffen buiten de inrichting of instelling geschiedt op een wijze zoals dat is opgenomen in het Besluit vervoer splijtstoffen, ertsen, radioactieve stoffen (Bvser). Een praktische handleiding voor het toepassen van deze regeling is beschreven in de NVS-publicatie nr.32 [6].

Het verplaatsen van radioactieve stoffen binnen gecontroleerde en bewaakte zones kan behandeld worden als een bewerking binnen het kader van de voorgestelde leidraad. Dat betekent dat het transport binnen een zone in de meeste gevallen neer zal komen op een bewerking met een gesloten systeem. Daarbij zal in het algemeen geen sprake zijn van specifieke afzuigvoorzieningen, tenzij het verplaatsingen binnen een zuurkast betreft. Uit de tabellen met maximaal te hanteren hoeveelheden kan worden opgemaakt wat de maximaal te vervoeren hoeveelheid radioactieve stoffen is. Deze hoeveelheid is beperkt, omdat de systematiek ervan uitgaat dat er zo nu en dan gebeurtenissen met het gesloten systeem zullen voorkomen waarbij de activiteit volledig vrijkomt.

Als de binnen een zone te transporteren hoeveelheid groter is dan de maximaal te hanteren hoeveelheid in een gesloten systeem, dan moeten er extra maatregelen worden getroffen om te voorkomen dat de activiteit bij een onbedoelde gebeurtenis kan vrijkomen. Dit wordt in het algemeen gedaan door het gesloten systeem te omsluiten met een tweede gesloten systeem, dat zodanig is uitgevoerd dat verondersteld mag worden dat het zeer onwaarschijnlijk is dat beide gesloten systemen tegelijkertijd zullen falen. Op deze manier zijn hoeveelheden binnen de zone te transporteren tot aan de maximaal te hanteren hoeveelheid.

Ook de fase tijdens het in- en uitpakken van transportverpakkingen binnen de zone, waarbij geen sprake is van een meervoudig gesloten systeem zoals hierboven omschreven, wordt beschouwd als bewerking met een gesloten systeem. Dit geldt bijvoorbeeld voor het plaatsen van een gesloten vial in een transportcontainer. Dat betekent dat deze handeling zonodig gebeurt met een geschikte specifieke afzuigvoorziening.

5 Conclusie

De in dit onderzoek ontwikkelde leidraad biedt de mogelijkheid de beheersing van risico's bij handelingen met radioactieve stoffen verder te optimaliseren. De voorgestelde leidraad is niet ingewikkelder in het gebruik dan de bestaande richtlijn. De voorgestelde leidraad sluit beter aan bij een arbeidshygiënische strategie, doordat meer nadruk licht op het optimaliseren van de fysisch chemische eigenschappen van de bron en van de specifieke afzuigvoorzieningen (brongerichte maatregelen), en minder op de eigenschappen van de werkplek. De in de leidraad voorgestelde maximaal te hanteren hoeveelheden voor B- en C-laboratoria zijn in een aantal gevallen beter onderbouwd met behulp van het HARAS-model en een norm voor de maximaal te aanvaarden dosis door inhalatie van radioactieve stoffen bij een incidentele blootstelling. In de andere gevallen wordt de huidige praktijk gehandhaafd door de bestaande richtlijnen over te nemen.

BIJLAGE I

LEIDRAAD VOOR HANDELINGEN MET RADIOACTIEVE STOFFEN IN LABORATORIA

1 Beheersmaatregelen

Een systematische aanpak van de beheersing van de risico's voor de werknemers volgt uit de basisstrategie voor risicobeheersing in arbeidsomstandigheden, welke bijvoorbeeld is toegelicht in de Arbo-informatiebladen AI-18 Laboratoria [7] en AI-27 Ioniserende straling [8]. Deze strategie komt overeen met het arbeidshygiënisch regime dat wordt beschreven in de Arbo-wet (artikel 3.1.b) en verder is uitgewerkt in het Arbobesluit voor gevaarlijke stoffen en biologische agentia (artikel 4.9).

Een aantal maatregelen, zoals de maatregelen die gericht zijn op bestrijding aan de bron, zal ook bijdragen aan een beperking van de risico's voor het milieu. Soms zijn echter ook specifieke milieugerichte maatregelen te overwegen, zoals het toepassen van filters in ventilatiekanalen ter beperking van lozing van radioactieve stoffen in de lucht. Het bepalen of de maatregelen gericht op het milieu voldoende zijn gebeurt aan de hand van de ministeriële richtlijn AGIS, en valt daarom buiten het bestek van dit rapport.

1.1 Bestrijding aan de bron

Het bestrijden van de risico's bij de bron is het meest effectief, omdat mogelijk hiermee de overige stappen van de strategie voor risicobeheersing overbodig worden. De overweging of toepassing van een bron van ioniserende straling geheel vermeden kan worden is een verplichte procedure in de stralingshygiëne (rechtvaardiging). Er kunnen twee redenen zijn die leiden tot het vermijden van de bron:

- 1) uit de risicoanalyse blijkt dat de nadelen van de toepassing de er mee samenhangende voordelen overstijgen;
- 2) er zijn redelijke alternatieven voor het gebruik van de bron van ioniserende straling.

De overheid heeft lijsten met gerechtvaardigde en met niet-gerechtvaardigde toepassingen met open bronnen opgesteld. De lijsten geven een eerste indicatie of een bepaalde toepassing in het algemeen als gerechtvaardigd wordt beschouwd. Daarnaast blijft het nodig om voor de specifieke situatie na te gaan of toepassing van de bron wel doelmatig en dus gerechtvaardigd is.

Als de conclusie van deze afweging is dat de toepassing van de bron redelijkerwijs niet te vermijden is, is de volgende stap in de basisstrategie het zo ver mogelijk beperken van de bron. Dat betekent dat de activiteit toegepast bij een bewerking niet groter gekozen wordt dan nuttig is. Het belangrijkste beslismoment voor het beperken van de activiteit ligt waarschijnlijk meestal bij het bestellen van een voorraad radioactieve stoffen.

Men kan de tijd beperken dat er sprake is van stralingsrisico's door te kiezen voor radionucliden met een halveringstijd die niet langer is dan noodzakelijk. Dit ligt vooral voor de hand in situaties waarbij de nuttige toepassing van de bron slechts een beperkte periode beslaat, bijvoorbeeld de duur van een serie geplande experimenten.

Bij de keuze van een bron wordt gelet op de soort en energie van de straling. Informatie over dergelijke eigenschappen van veel toegepaste radionucliden is te vinden in leerboeken en handboeken (zie bijvoorbeeld [9]). Het doordringend vermogen wordt beperkt tot wat nuttig is. Er wordt gekozen voor radionucliden met een optimale combinatie van de soort en de energie van de uitgezonden stralingsdeeltjes. Zo wordt er in researchlaboratoria veel gewerkt met bètastralers zoals ^{32}P en ^{35}S omdat de bètastraling niet verder in materiaal kan doordringen dan de dracht van de bètadeeltjes. Voor gammastralers geeft de bronconstante een maat voor de externe stralingsbelasting door gammastraling per desintegratie. Voor bètastralers is vooral de conversiecoëfficiënt voor huidbesmetting relevant. Vanuit oogpunt van stralingshygiëne is het gunstig te kiezen voor nucliden met een kleine bronconstante en een lage dosisconversiecoëfficiënt voor huidbesmetting.

De mate van schadelijkheid bij inname van een bepaald radionuclide wordt uitgedrukt in de dosisconversiecoëfficiënt. De dosisconversiecoëfficiënt e_{inh} , respectievelijk e_{ing} , (beide in Sv/Bq) geeft de dosis weer per eenheid van ingeademde, respectievelijk ingeslikte, activiteit. Bij het werken met

open bronnen is het gunstig te kiezen voor radionucliden met een lage dosisconversiecoëfficiënt. In dit rapport wordt de hoeveelheid radioactieve stoffen vaak uitgedrukt als product van activiteit A (in Bq) en dosisconversiecoëfficiënt e (in Sv/Bq). Voor dit product $A \cdot e$ met de dimensie sievert wordt de eenheid radiotoxiciteitsequivalent Re gebruikt, waarbij een Re is gedefinieerd als de hoeveelheid radioactieve stof die bij volledige directe inname een effectieve dosis van 1 Sv veroorzaakt. Het voordeel van het gebruik van het product $A \cdot e$ is dat normen voor hoeveelheden radioactieve stoffen, gebaseerd op het risico van inname, onafhankelijk worden gemaakt van het radionuclide.

1.2 Afscherming bij de bron

Is eenmaal gekozen voor het uitvoeren van bewerkingen met een bepaalde activiteit, dan is de volgende stap het afschermen bij de bron. Blootstelling door externe straling wordt beperkt door het gebruik van afscherming, zoals PMMA-schermen voor de afscherming van (harde) betastraling en loodpotten of loodkastelen voor de afscherming van gammastraling. De specifieke uitvoering hangt onder andere af van het doordringend vermogen van de straling. Bij sterke bronnen kan het noodzakelijk zijn om niet alleen de directe straling af te schermen, maar ook de verstrooide straling. Afscherming vindt zo dicht mogelijk bij de bron plaats. Beperkende factoren bij het aanbrengen van afschermingsmateriaal zijn de bereikbaarheid van de opstelling, de doorstroming van ventilatie en uiteindelijk het draagvermogen van tafel en vloer. Opstellingen die structureel langdurig staan opgesteld, worden zo afgeschermd dat op plaatsen waar personen kunnen verblijven het gemiddelde dosistempo minder is dan 0,5 μ Sv per uur over één week gerekend.

De blootstelling door inname van radioactieve stoffen wordt beperkt door maatregelen te nemen die verspreiding van radioactieve stoffen tegen gaan. De mate van verspreiding van radioactieve stoffen hangt in eerste instantie af van de fysisch-chemische vorm en het type bewerking.

Een gunstige keuze van de fysisch-chemische vorm vormt een eerste barrière voor het radionuclide om zich te kunnen verspreiden. De mate van vluchtigheid van een radioactieve stof opgelost in een vloeistof is van invloed op de mate van verspreiding door de lucht, en daarmee op de blootstelling door inhalatie. Het is gunstig te kiezen voor niet vluchtige nucliden, of voor vaste stoffen mits deze niet als fijne stofdeeltjes verdeeld zijn. Het werken met (edel)gasen heeft echter weer het voordeel dat verspreiding via oppervlaktebesmettingen, wat kan leiden tot blootstelling van de huid of blootstelling door ingestie, wordt tegengegaan.

Een volgende barrière tegen verspreiding wordt gevormd door een gunstige keuze van het type bewerking. Tabel 14 geeft een overzicht van veel voorkomende bewerkingen met radioactieve stoffen. Een speciale categorie bestaat uit de bewerkingen met een gesloten systeem, waarbij de radioactieve stof is afgesloten van de directe omgeving, zoals injectiespuiten en gesloten vials. De keuze voor deze categorie bewerkingen beperkt onbedoelde verspreiding naar de directe omgeving, zowel via de lucht als via oppervlakken. Sterk spattende of zeer stoffige bewerkingen met radioactieve stoffen worden zo veel mogelijk vermeden.

Het werken op absorberend materiaal en in lekbakken beperkt verspreiding van radioactiviteit via oppervlaktebesmettingen in het geval er kleine hoeveelheden radioactieve stoffen gemorst worden.

Gebruik van specifieke afzuigvoorzieningen beperkt de verspreiding van vrijgekomen activiteit via de lucht richting de werknemer. Hieronder worden specifieke afzuigvoorzieningen behandeld, in afnemende mate van effectiviteit.

Isolator

Een isolator of gesloten kast is bij uitstek geschikt ter voorkoming van besmetting door inhalatie. Ook voorkomt een dergelijke kast besmetting door ingestie. Bij het gebruik van een isolator is de bediener volledig gescheiden van zijn werk. De handelingen vinden plaats door middel van aan de kast gemonteerde handschoenen (handschoenenkast) of afstandsgereedschap, zoals tangen. Een sluisje wordt gebruikt voor het veilig naar binnen en naar buiten brengen van voorwerpen en stoffen. De isolator is goed decontamineerbaar en is glad en naadloos uitgevoerd. In de werkruimte van de isolator heerst onderdruk ten opzichte van de werkplek om lekkage van radioactiviteit naar de werkplek te voorkomen. De isolator beschikt over signaleringen die de werknemer waarschuwen als de isolator niet naar behoren functioneert. De lucht uit de isolator wordt naar de buitenlucht afgevoerd.

Een microbiologische veiligheidswerkkast klasse III zoals beschreven in de norm NEN-EN 12469 [10] kan als isolator worden gebruikt, mits de lucht uit de isolator naar de buitenlucht wordt afgevoerd. De norm NEN-EN 12469 noemt een aantal beproevingen waarmee de beschermende werking voor de medewerker kan worden geborgd. De beschreven beproevingen omvatten typebeproevingen, beproevingen na installatie op locatie en periodieke beproevingen op locatie.

Zuurkasten

In radionuclidenlaboratoria is ten minste één goed werkende zuurkast aanwezig, die geschikt is voor het radiologische werk. Onder een gekeurde zuurkast wordt een zuurkast verstaan die is gekeurd volgens de norm NEN-EN 14175 [11, 12, 13, 14] en waarvoor de containment factor in de orde van 100 of hoger is. De containment factor is in de norm gedefinieerd als de verhouding van de volumeconcentraties van een stof binnen en buiten de zuurkast. De genoemde norm geeft de eisen voor zuurkasten, voor de toe te passen beproevingsmethoden (typebeproevingen, beproevingen na installatie op locatie en periodieke beproevingen op locatie) en voor de wijze van rapportage.

Het effect van een gekeurde zuurkast wordt met behulp van twee parameters in de HARAS-berekeningen in rekening gebracht. Voor een gekeurde zuurkast wordt in het model aangenomen dat het ventilatievoud in de zuurkast 1000 h^{-1} bedraagt, en de fractionele verwijderingsconstante vanuit de zuurkast naar de werknemer $0,1 \text{ h}^{-1}$. Dit komt volgens het HARAS-model overeen met een containment factor volgens NEN-EN 14175 in de orde van 100. In de norm wordt de containment factor bepaald door metingen met het tracergas SF_6 . Aangenomen wordt dat deze test een goede indicator is voor het containment van de radioactieve stoffen die in de zuurkast worden toegepast.

Zuurkasten die niet zijn getest volgens de bovenstaande norm worden in deze leidraad aangeduid als gewone zuurkast, of kortweg zuurkast. Dit kan ook een zuurkast betreffen waarin grote opstellingen of afschermingen worden opgesteld. Bij dergelijk gebruik van een gewone zuurkast kan niet zonder meer aangenomen worden dat de containment factor bepaald voor de lege zuurkast (bijvoorbeeld tijdens een typebeproeving) nog geldig is. Het beschermend effect van zo'n zuurkast wordt in rekening gebracht door aan te nemen dat het ventilatievoud in de zuurkast 500 h^{-1} bedraagt, en de fractionele verwijderingsconstante vanuit de zuurkast naar de werknemer 1 h^{-1} . Dit komt overeen met een containment factor volgens NEN-EN 14175 in de orde van 10.

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

Een biologische veiligheidswerkkast klasse II volgens NEN-EN 12469 kan worden gebruikt in plaats van een zuurkast, mits de kast voldoet aan de hierboven beschreven voorwaarden en de lucht uit de werkkast naar de buitenlucht wordt afgevoerd. De in de betreffende norm beschreven beproevingsmethoden met betrekking tot containment wijken af van die in de norm voor zuurkasten. De biologische veiligheidswerkkasten worden in de eerste plaats getest op het vermogen om met micro-organismen besmette deeltjes binnen de kast te houden, bijvoorbeeld door het testen van de verspreiding van aerosolen. Als niettemin aannemelijk kan worden gemaakt dat een biologische veiligheidswerkkast klasse II, inclusief de in de werkkast aanwezige opstellingen, een containment factor (zoals bedoeld in de norm voor zuurkasten) in de orde van 100 heeft, kan deze beschouwd worden als een gekeurde zuurkast. Zo niet, dan wordt de werkkast beschouwd als een zuurkast met containment factor in de orde van 10.

Afzuigpijp

Als niet gewerkt kan worden in een isolator of een zuurkast kan het effectief zijn om een afzuigpijp toe te passen. Afzuigpijpen zijn echter alleen effectief als mond van de afzuigpijp zich op een afstand van de bron bevindt die niet veel groter is dan de diameter van de afzuigpijp. Het effect van een afzuigpijp wordt in rekening gebracht door aan te nemen dat het ventilatievoud in het afgezogen volume onder de pijp 100 h^{-1} bedraagt. De fractionele verwijderingsconstante vanuit het afgezogen volume naar de werknemer wordt gelijk gesteld aan het ventilatievoud van de werkplek, ofwel 5 h^{-1} voor een

laboratorium. In analogie met de containment factor voor zuurkasten, zou aan deze voorziening een containment factor kunnen worden toegekend in de orde van 1, ofwel de concentratie stoffen in het afgezogen volume is ongeveer gelijk aan dat ter plekke van de werknemer. Volgens deze systematiek is de beschermende werking van de afzuigpijp dus alleen het gevolg van verdunning door het ventileren van het afgezogen volume.

1.3 Aanpassing van de werkplek

Naast de maatregelen gericht op beperking en afscherming van de bron zoals hierboven omschreven wordt zonodig blootstelling aan straling verder beperkt door aanpassingen aan de werkplek door een geschikte set maatregelen. De maatregelen worden beschouwd als effectief als het mogelijk falen van de maatregelen gericht op beperking en afscherming van de bron niet leidt tot een onaanvaardbaar hoge blootstelling van de betrokken medewerkers. De maatregelen kunnen organisatorisch en bouwkundig van aard zijn. De maatregelen hebben tot doel barrières op te werpen tegen verspreiding van radioactieve stoffen en onbedoeld verspreide radioactieve stoffen te detecteren en effectief op te ruimen.

Als maatregelen gericht op de werkplek nodig zijn, is classificatie van de plaats van de handelingen als bewaakte of gecontroleerde zone een effectief middel om het speciale karakter van de werkplek aan te geven. De gecontroleerde zone is een gebied met het striktere stralingshygiënisch regime en verder gaande maatregelen. Een laboratorium waar met radioactieve stoffen wordt gewerkt wordt op basis van het voorzieningenniveau ingedeeld als B-, C- of D-laboratorium. B-laboratoria worden geclassificeerd als gecontroleerde zone, en C- en D-laboratoria als bewaakte zone.

De grootste verschillen tussen bewaakte en gecontroleerde zones liggen op het organisatorische vlak, met name voor wat betreft het toezicht (deskundigheid toegespitst op de specifieke toepassingen, bekwaamheid in het omgaan met complexe besmettingssituaties, beschikbaarheid en continuïteit) en specifieke regelingen en werkvoorschriften (zoals de instructie voor nieuwe medewerkers en bezoekers, en de regeling voor eerste hulp bij stralingsongevallen). In deze paragraaf worden verder de bouwkundige en inrichtingsmaatregelen besproken gericht op beperking van de blootstelling van de werknemers betrokken bij de handelingen binnen de zone.

Benodigde ruimten

Om onbedoelde verspreiding van radioactieve stoffen te voorkomen wordt het radioactieve werk zo veel mogelijk gescheiden van het niet-radioactieve werk. In laboratoria waar gewerkt wordt met open bronnen vinden bij voorkeur alleen handelingen plaats met open bronnen of handelingen die direct daarmee verband houden. Daarnaast zal er vaak behoefte zijn aan één of meer nevenruimten. Bijvoorbeeld een ruimte ten behoeve van administratieve werkzaamheden, een ruimte waarin de meetapparatuur staat opgesteld, of de bergplaats.

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, worden deze zo opgeslagen dat de stoffen geen gevaar opleveren voor personen of voor de omgeving. De maatregelen die worden getroffen, betreffen bescherming tegen ioniserende straling, brandbeveiliging en fysieke beveiliging.

Een complex van meerdere ruimten kan ingedeeld worden in één of meerdere zones. De zones worden onderling zo gegroepeerd dat men, om vanuit een niet-geclassificeerde ruimte naar een bewaakte zone te gaan, niet door een gecontroleerde zone hoeft. Met andere woorden, de route naar binnen loopt via oplopend niveau van classificatie.

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, worden bij deze bewerkingen extra voorzorgen in acht genomen. In een aantal gevallen zal een koelvitrine een goed alternatief zijn voor een koude kamer.

Decontamineerbaarheid

De inrichting en het interieur van een ruimte waar handelingen met open bronnen worden verricht, zijn goed decontamineerbaar. De vloeren en wanden van de werkplek en de bergplaats zijn gemaakt van goed decontamineerbaar materiaal dat bestand is tegen chemicaliën die worden toegepast. Dit wordt gerealiseerd door bijvoorbeeld de vloeren kuipvormig (opgewerkte kanten) en naadloos (afgekitte voegen) uit te voeren. Een tegelvloer is niet goed decontamineerbaar, omdat de naden tussen de tegels slecht schoon zijn te maken. In bewaakte zones en in de bergplaats wordt deze wandbekleding tot een redelijke hoogte boven het vloeroppervlak aangebracht, in gecontroleerde zones zonodig tot aan het plafond.

Voorzover er leidingen in de ruimten zijn, zijn deze zodanig aangebracht dat deze gemakkelijk kunnen worden gereinigd. Dit geldt ook voor verwarmingselementen. Verder is er voldoende ruimte om de radiator heen en tussen de radiatorplaten onderling. In gecontroleerde zones worden alle leidingen ten behoeve van elektra, gas, water enzovoort weggewerkt. Leidingdoorvoeren in bewaakte zones behoren glad en naadloos te zijn afgewerkt en zodanig te zijn uitgevoerd dat ze gemakkelijk kunnen worden gereinigd. In ruimten, uitsluitend bedoeld voor opvangtanks van radioactief besmet afvalwater, hoeft alleen de binnenzijde van de bak waar de tanks in staan, goed decontamineerbaar te zijn.

Stoelen en krukken in de ruimte waar handelingen met open bronnen worden verricht, zijn goed decontamineerbaar, bijvoorbeeld niet met stoffen bekleding. Laboratoriumtafels kunnen in een vaste of in een verplaatsbare opstelling zijn uitgevoerd. Wanneer de tafels vast zijn opgesteld, worden de tafels aan de onderzijde voorzien van opstaande holle plinten, die naadloos met de vloerbedekking zijn verbonden. De tafels vertonen geen naden of kieren en de oppervlakken aan de buitenzijde zijn niet-absorberend en gemakkelijk decontamineerbaar. Werkbladen zijn van een dusdanig materiaal geconstrueerd of met een zodanig harde lak behandeld, dat zij bestand zijn tegen mechanische invloeden en tegen de stoffen die in het laboratorium worden toegepast.

Alleen voorwerpen die voor de handelingen strikt noodzakelijk zijn, zijn aanwezig. Administratieve bescheiden worden zoveel mogelijk buiten de bewaakte of gecontroleerde zone. Archieven en naslagwerken worden elders opgeslagen.

De maatregelen gericht op decontamineerbaarheid zijn met name van belang als er langlevende nucliden worden toegepast.

Ventilatie

Ventilatie van de werkplek beschermt de werknemer tegen een te hoge concentratie van een radioactieve stof in de lucht in de gevallen dat de maatregelen bij de bron te kort schieten, bijvoorbeeld bij onbedoelde gebeurtenissen. Belangrijk in dit verband is het stroomprofiel van de lucht. De ventilatievoorzieningen worden zodanig ontworpen dat de luchtstroom van (het hoofd van) de werknemer richting bron wordt geleid en niet andersom. In de meeste gevallen zal de afzuiging via de zuurkast(en) plaatsvinden. Te openen ramen worden vermeden, omdat het openen van het raam het stroomprofiel en daarmee het containment van de zuurkast ongunstig kan beïnvloeden. De ingeblazen lucht wordt op temperatuur gebracht. De afgezogen lucht van een bewaakte of gecontroleerde zone en van een bergplaats wordt niet gerecirculeerd.

Het ventilatievoud voor een standaardlaboratorium bedraagt circa 5 maal per uur. Dit ventilatievoud zal in de meeste gevallen ook voldoen in radionucliden-laboratoria en in de nevenruimten. In een betreedbare bergplaats bedraagt het ventilatievoud minimaal 3 maal per uur. Om het energieverbruik te beperken gedurende de uren dat er niet wordt gewerkt kan de ventilatie teruggebracht worden tot 2 maal per uur.

Een koude kamer zal slechts ten koste van een hoog energieverbruik kunnen worden geventileerd. Indien in een koude kamer wordt gewerkt met vluchtige radioactieve stoffen dan wordt bij ventilatie niet 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 wordt periodiek gecontroleerd.

Water

In een radionucliden-laboratorium is er gelegenheid tot het wassen van de handen. Bij voorkeur kunnen de wastafelkranen worden bediend zonder dat zij met de hand moeten worden aangeraakt; in een B-laboratorium is dat verplicht. In een C-laboratorium kan ten minste één wastafelkraan op bovengenoemde wijze worden bediend. Mede vanuit oogpunt van waterbesparing kunnen bij nieuwbouw en renovatie sensor- of infraroodkranen worden geplaatst.

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

De aansluiting op de gemeenschappelijke drinkwaterinstallatie wordt zodanig uitgevoerd dat besmetting van het drinkwater met radioactieve stoffen wordt voorkomen. Dit kan bijvoorbeeld worden gerealiseerd door een gescheiden watersysteem voor laboratoriumgebruik en drinkwatergebruik. In het waterleidingnet worden terugstroombeveiligingen en antihevelingsystemen aangebracht. Deze speciale voorzieningen worden getroffen om te voorkomen dat verontreinigd water uit laboratoria, waar met radioactieve stoffen of andere gevaarlijke stoffen wordt gewerkt, terug kan stromen in het waterleidingnet en even later op een andere plaats als drinkwater wordt gebruikt. Het gebied achter deze terugslagbeveiligingen wordt als proceswater beschouwd. Bij tappunten voor laboratoriumgebruik wordt op deugdelijke wijze vermeld, dat het water niet is bestemd voor consumptie. Het gebruik van waterstraalpompen wordt vermeden, omdat hiervoor goede alternatieven bestaan.

1.4 Afscherming van de mens

Naast de hierboven genoemde maatregelen, die in de eerste plaats gericht zijn op de direct betrokken werknemer, zijn aanvullende maatregelen wenselijk om te voorkomen dat niet-direct betrokken werknemers in aanraking komen met ongecontroleerd verspreide radioactiviteit. Daarbij wordt in de eerste plaats rekening gehouden met de mogelijkheid van verspreiding van radioactiviteit via huid- of oppervlaktebesmettingen. Dergelijke besmettingen ontstaan door onbedoelde gebeurtenissen zoals morsen en het aanraken van besmette onderdelen. Er wordt van uitgegaan dat dit relatief vaak (een paar keer per jaar) voorkomt.

De maatregelen worden beschouwd als effectief als de ongecontroleerde verspreiding van radioactieve stoffen buiten de geclassificeerde ruimte wordt beperkt tot een aanvaardbaar laag niveau.

Werknemers, die niet direct betrokken zijn bij handelingen met open bronnen, kunnen van de bron worden afgeschermd door het beperken van de toegang tot de geclassificeerde ruimten. De classificering wordt door middel van waarschuwingssignalering bij de toegang tot de zone aangegeven. Door handhaving van een speciaal regime binnen de zone en door controles wordt de verspreiding van radioactieve stoffen buiten de zone beperkt. Uitgangspunt is dat buiten een zone oppervlaktebesmettingen niet voor mogen komen. Een oppervlak wordt beschouwd als besmet als de afwrijfbare activiteit per oppervlakte-eenheid meer dan 4 Bq per cm² bedraagt. Een dergelijke besmetting zal in het algemeen geen dosis van betekenis opleveren. De beperking van verspreiding van radioactiviteit is dan ook niet zozeer een kwestie van veiligheid, maar vooral een kwestie van hygiëne.

Een zone kan beschouwd worden als een potentieel besmet gebied. Om te voorkomen dat besmettingen zich buiten de zone uitbreiden, gaat de zonering gepaard met een set maatregelen. Deze maatregelen hebben allen betrekking op de verbindingen van de zone met de buitenwereld. Afhankelijk van de uitgebreidheid van de benodigde maatregelen wordt een zone geclassificeerd als bewaakte zone (beperkte set maatregelen) dan wel als gecontroleerde zone (uitgebreide set maatregelen). De maatregelen worden beschouwd als effectief indien (ook bij mogelijk falen van de maatregelen gericht op de bron en de werkplek) de ongecontroleerde verspreiding van activiteit beperkt blijft tot een acceptabel niveau.

Afscherming externe straling

Berekend wordt of voor de wanden van een ruimte extra afscherming noodzakelijk is. Uitgangspunt daarbij is dat het dosistempo buiten de zone, binnen de locatie, gemiddeld minder moet bedragen dan 0,5 µSv per uur.

Verkeer van personen en goederen

Wanneer binnen één instelling meer dan één ruimte aanwezig is waar gewerkt wordt met open bronnen, dan verdient het de voorkeur deze ruimten zoveel mogelijk aaneengesloten te houden, zodat vervoer van radioactiviteit buiten de bewaakte en gecontroleerde zones minimaal is en de toegangsbeveiliging tot één plaats beperkt kan blijven. De transportroutes van radioactief materiaal zijn bij voorkeur kort, echter zodanig dat de gekozen route het minste gevaar, schade of hinder kan opleveren. Voor het vervoer, zowel intern als extern, worden werkvoorschriften opgesteld waarin de maatregelen worden beschreven. Het verplaatsen van radioactieve stoffen buiten gecontroleerde en bewaakte zones gebeurt in overeenstemming met de bestaande regelingen voor transport van radioactieve stoffen, onder meer door te voldoen aan de gestelde verpakkingseisen. Dit geldt voor hoeveelheden radioactieve stof boven het vrijstellingsniveau, en voor voorwerpen met een oppervlaktebesmetting. Door middel van de controle van goederenstromen die de zonegrens passeren kan op een juiste toepassing van de vervoersregeling worden toegezien. Voor het vervoer binnen de inrichting gelden de procedures zoals deze door de ondernemer worden vastgesteld. Het transport van radioactieve stoffen buiten de inrichting of instelling geschiedt op een wijze zoals dat is opgenomen in het Besluit vervoer splijtstoffen, ertsen, radioactieve stoffen (Bvser).

Het verplaatsen van radioactieve stoffen binnen deze zones wordt beschouwd als een bewerking. Dat betekent dat het transport binnen een zone in de meeste gevallen neer zal komen op een bewerking met een gesloten systeem. Als de binnen een zone te transporteren hoeveelheid groter is dan de maximaal te hanteren hoeveelheid in een gesloten systeem, dan worden er extra maatregelen getroffen om te voorkomen dat de activiteit bij een onbedoelde gebeurtenis kan vrijkomen. Dit wordt gedaan door het gesloten systeem te omsluiten met een tweede gesloten systeem, dat zodanig is uitgevoerd dat verondersteld mag worden dat het zeer onwaarschijnlijk is dat beide gesloten systemen tegelijkertijd zullen falen. Op deze manier zijn hoeveelheden binnen de zone te transporteren tot aan de maximaal te hanteren hoeveelheid.

De fase tijdens het in- en uitpakken van transportverpakkingen binnen de zone, waarbij geen sprake is van meervoudig gesloten systemen zoals hierboven omschreven, wordt beschouwd als bewerking met een gesloten systeem. Dit geldt bijvoorbeeld voor het plaatsen van een afgesloten vial met activiteit in een transportcontainer. Dat betekent dat deze handeling zonodig gebeurt met een geschikte specifieke afzuigvoorziening.

Nabij de toegang tot een radionucliden-laboratorium wordt de beschermende kleding voor de zone opgeborgen. Er is een regeling die duidelijk en naleefbaar is en die voldoende bescherming garandeert. Bij het wisselen van de speciale kleding is de mogelijkheid aanwezig om te controleren op radioactieve besmetting. Bij een bewaakte zone kan voor de opslag van de werkkleding worden volstaan met een aparte kapstok. De werkkleding wordt niet bewaard op plaatsen die vrij toegankelijk zijn.

Een B-laboratorium 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 zijn omkleedfaciliteiten voor jassen en schoenen of sloffen en er kan controle plaatsvinden op radioactieve besmetting met behulp van permanent opgestelde meetapparatuur. Er zijn faciliteiten om de handen te wassen.

Bij een B-laboratorium is ook een werkkast beschikbaar om de schoonmaakbenodigdheden te kunnen opbergen. Deze schoonmaakbenodigdheden worden alleen gebruikt binnen het laboratorium.

Het naar buiten brengen van transportverpakkingen en andere goederen (zoals overtollige apparatuur) gebeurt slechts na een vrijgaveprocedure onder verantwoordelijkheid van de stralingsdeskundige. Deze procedure omvat in elk geval controle op radioactieve besmetting.

Ruimten waar open bronnen worden toegepast of worden opgeslagen, worden afgesloten wanneer er niet in wordt gewerkt.

Luchtbehandeling

Als er kans is op verspreiding van radioactiviteit door de lucht wordt door middel van de ventilatie een geclassificeerde ruimte op onderdruk gehouden ten opzichte van een minder hoog geclassificeerde ruimte. Het drukverschil is zodanig dat ook bij het openen van deuren de luchtstroom gericht is naar de

hoogst geclassificeerde ruimte. In het algemeen is een drukverschil van enkele pascal voldoende. Het vergrendelen van ramen in bewaakte en gecontroleerde zones helpt de onderdruk in stand te houden. Indien het ventilatievoud buiten werktijd wordt verminderd, gebeurt dit zodanig dat de eventueel benodigde onderdruk gewaarborgd blijft.

Het afzuiggedeelte van het ventilatiesysteem van B- en C-laboratoria is onafhankelijk van het afzuigsysteem, waarop de niet-radiologische ruimten zijn aangesloten. Aan de buitenzijde van deze ventilatiekanalen is waarschuwingssignalering aanwezig. De afzuigventilatoren worden zo hoog mogelijk in het gebouw opgesteld, om een drukopbouw aan de perszijde van de ventilatoren te voorkomen. Geforceerde toevoer van verse lucht is alleen mogelijk bij een in werking zijnde afzuiginstallatie.

In de filters in de ventilatiekanalen van radionucliden-laboratoria waar met langlevende open bronnen 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. Het werken aan de filters en ventilatiekanalen gebeurt alleen na overleg met de verantwoordelijk deskundige.

De afgezogen lucht wordt bij een radionucliden-laboratorium zodanig 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 kan in geval van brand op een punt buiten de zone worden uitgeschakeld om het vuur niet aan te wakkeren.

Afvoerleidingen

In de vuilwater-afvoerleidingen van radionucliden-laboratoria waar met langlevende open bronnen 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 μ Sv per uur op een meter afstand van de vuilwater-afvoerleiding dan worden extra afschermingsmaatregelen genomen.

In de afvoer van laboratoria wordt een voorziening voor monsternamen opgenomen. Het werken aan de vuilwater-afvoerleidingen binnen de locatie waar radioactieve stoffen op kunnen worden geloosd gebeurt alleen na overleg met de verantwoordelijk deskundige. Aan de buitenzijde van deze vuilwater-afvoerleidingen is waarschuwingssignalering aanwezig. Deze signalering is aanwezig tot aan de aansluiting van deze vuilwater-afvoerleiding op het hoofdriool van de locatie.

Brandbeveiliging

Bij brand moeten ruimten waar gewerkt wordt met open bronnen 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.

Brandbeveiliging is erop gericht de kans op het ontstaan van brand en uitbreiding van een brand in een radionucliden-laboratorium 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 voor de ruimte wordt de voorkeur gegeven aan sproeischuim. Daarnaast is het aan te raden een CO₂-blusser bij elke zuurkast te plaatsen, waarmee een kleine brand binnen de zuurkast bestreden kan worden. Poederblussers hebben het nadeel dat het poeder een aanzienlijke gevolgschade kan opleveren. De norm NEN 4001 [15] geeft aanwijzingen voor de plaatsing van draagbare en verrijdbare blustoestellen. Overleg met de brandweer en de brandverzekeraar over maatregelen met betrekking tot brandbeveiliging is aan te bevelen.

Overzicht maatregelen bij ruimten waar open bronnen worden toegepast

Enkele eisen die gesteld worden aan laboratoria waar open bronnen worden toegepast zijn weergegeven in Tabel 3. Voor algemene eisen die gesteld worden aan laboratoria wordt verwezen naar het Arbo-Informatieblad AI-18 Laboratoria.

Tabel 3 Voorbeelden van maatregelen die genomen worden bij laboratoria waar open bronnen worden toegepast

VOORZIENING	D- LABORATORIUM	C-LABORATORIUM	B-LABORATORIUM
toegang	personen moeten bekend zijn met risico's, geen toegang voor onbevoegden, kapstok en besmettingscontrole bij ingang, toegangsdeur afsluitbaar	personen moeten bekend zijn met risico's, geen toegang voor onbevoegden, kapstok en besmettingscontrole bij ingang, toegangsdeur afsluitbaar	als C-laboratorium, bovendien: permanent opgestelde controleapparatuur, alleen toegang via de sluis met ruimte om kleding en schoenen te wisselen
zonering	bewaakte zone	bewaakte zone	gecontroleerde zone
ramen	te openen ramen zijn toegestaan	te openen ramen zijn niet toegestaan	te openen ramen zijn niet toegestaan
onderdruk	--	minimaal 5 Pa ten opzichte van omliggende, niet-geclassificeerde ruimten	minimaal 5 Pa ten opzichte van omliggende, lager geclassificeerde ruimten, continu gemeten
toevoer ventilatielucht	gezamenlijk met andere ruimten	gezamenlijk met andere ruimten, met terugslagklep	gezamenlijk met andere ruimten, met terugslagklep
afvoer ventilatielucht	gezamenlijk met andere ruimten	separaat via de specifieke afzuigvoorzieningen	separaat via de specifieke afzuigvoorzieningen
afwerking	tot redelijke hoogte glad en naadloos uitgevoerd, bij voorkeur leidingen weggewerkt en vloeren voorzien van oplopende holle plinten	tot redelijke hoogte glad en naadloos uitgevoerd, bij voorkeur leidingen weggewerkt en vloeren voorzien van oplopende holle plinten	zonodig geheel glad en naadloos uitgevoerd, leidingen weggewerkt en vloeren voorzien van oplopende holle plinten
meubilair	goed decontamineerbaar	goed decontamineerbaar	goed decontamineerbaar
aantal niet-handbediende kranen	--	minimaal 1	alle

Vrijgave van een radionuclidenlaboratorium

Voor het (al of niet definitief) vrijgeven van een radionucliden-laboratorium wordt een vrijgaveprocedure gevolgd. Deze procedure is vooral van belang indien in het laboratorium is gewerkt met nucliden met een lange halfwaardetijd. Indien in de zone alleen is gewerkt met nucliden met een korte halfwaardetijd, kan worden volstaan met een eenvoudigere procedure. Het verdient aanbeveling de geplande procedure eerst aan de betrokken inspecties voor te leggen.

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 ruimte, waar gewerkt is met open bronnen, tevens de verhuizing naar een andere locatie speelt, dan wordt de nodige aandacht besteed aan de aspecten met betrekking tot het vervoer van radioactieve stoffen.

De eerste stap is het schrijven van een plan van aanpak. Hierin wordt 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 worden ten minste de naam en het adres van de nieuwe eigenaar vermeld. Men overtuigt zich ervan dat deze nieuwe eigenaar over een kernenergiewet-vergunning beschikt, die voldoende ruimte biedt om de bronnen te aanvaarden;
- plattegrond van de betreffende ruimten, 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 wordt een inschatting gemaakt van de potentiële besmettingen die nog aanwezig kunnen zijn in de betreffende ruimten en installaties. Vervolgens wordt een meetplan 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 wordt rekening gehouden met ophoping van activiteit.

De omvang van de uit te voeren controles alsmede de relatie van het gehanteerde interventieniveau tot de detectielimiet van de te gebruiken meetapparatuur wordt beschreven. Na de ontmanteling van de zone zijn er geen radioactieve stoffen boven de vergunningplichtige grens meer aanwezig.

Wanneer wordt voorzien dat hierbij radioactief afval ontstaat, wordt beschreven in welke vorm dit radioactieve afval zal voorkomen, hoe het zal worden bewerkt en verwerkt en hoe de afvoer wordt geregeld. Daarbij wordt de hoeveelheid radioactief afval zoveel mogelijk beperkt. 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 wordt in de eindrapportage opgenomen. In de rapportage wordt ook aangegeven door wie en onder wiens verantwoordelijkheid de procedure is uitgevoerd. Ook worden de belangrijkste meetresultaten weergegeven van de uitgevoerde besmettingscontroles en wordt gerapporteerd over de afvoer van het eventuele radioactieve afval.

Als de handelingen met open bronnen definitief gestaakt worden, wordt een verzoek tot het intrekken van de vergunning ingediend, waarbij een afschrift van de eindrapportage van de vrijgaveprocedure wordt gevoegd met de conclusie van de betrokken verantwoordelijk deskundige.

1.5 Persoonlijke bescherming

Maatregelen gericht op persoonlijke bescherming zijn nodig indien de overige voorzorgsmaatregelen niet voldoende bescherming bieden. Voor werknemers die open bronnen hanteren is dat met name het geval voor wat betreft de kans op huidbesmettingen en ingestie. De belangrijkste persoonlijke beschermingsmiddelen ter voorkoming van deze vormen van blootstelling zijn handschoenen en speciale kleding zoals labjassen. Persoonlijke bescherming bij het toepassen van open bronnen omvat

het in acht nemen van persoonlijke hygiëne (niet eten of drinken, regelmatig handen wassen en controle op radioactieve besmetting). Adembescherming zal slechts nodig zijn in uitzonderlijke situaties, bijvoorbeeld als men niet uit kan gaan van een goede werking van de lokale afzuigvoorzieningen.

Blootgestelde medewerkers dragen een passend persoonlijk controlemiddel. Erkende diensten voor persoonsdosimetrie leveren persoonsdosimeters voor het meten van de externe stralingsbelasting. Als controlemiddel voor inhalatie kan een *personal air sampler* gebruikt worden, maar dit wordt zelden gedaan. Controle op ingestie kan vooraf door het regelmatig controleren op radioactieve besmetting en achteraf door bijvoorbeeld een schildkliermeting of analyse van urine. A-werknemers staan onder medisch toezicht van een stralingsarts.

2 Toetsingscriteria voor beheersmaatregelen in laboratoria

De toetsingscriteria voor beheersmaatregelen in laboratoria worden gegeven in tabellen als maximaal te hanteren hoeveelheden voor combinaties van type handeling, fysisch-chemische vorm van de gehanteerde radioactieve stof en specifieke afzuigvoorziening. Handelingen die bestaan uit combinaties van type bewerking, fysisch-chemische vorm en specifieke afzuigvoorziening die niet in de tabellen genoemd worden vallen buiten deze leidraad.

Er zijn afzonderlijke tabellen gegeven voor B- C- en D-laboratoria en voor ruimtes buiten het laboratoriumbeheer. Voor een gegeven type bewerking met een bepaalde fysisch-chemische vorm is de optimale specifieke afzuigvoorziening die met de grootste waarde voor de maximaal te hanteren hoeveelheid. Bij gelijke waarde van maximaal te hanteren hoeveelheid heeft de keuze van specifieke afzuigvoorziening weinig tot geen invloed op de blootstelling door inhalatie van radioactieve stoffen.

Als blijkt dat voor een geplande bewerking de te hanteren hoeveelheid radioactieve stoffen het maximum overschrijdt, of als het een combinatie van type bewerking en maatregelen betreft die niet in de tabellen wordt genoemd, dan zijn er een aantal mogelijkheden:

- De bewerking wordt niet uitgevoerd, of zodanig aangepast dat ze wel in de tabellen voorkomt,
- Het niveau van de specifieke afzuigvoorzieningen wordt verbeterd,
- De bewerking wordt verplaatst naar een werkplek met een hogere classificatie,
- Door een specifieke risicoanalyse (met bijvoorbeeld als onderdeel HARAS-berekeningen voor bepaling van de mogelijke blootstelling door inhalatie) wordt aangetoond dat de chronische en potentiële blootstellingen aanvaardbaar laag zijn.

Tabel 4 Maximaal per bewerking te hanteren hoeveelheden radioactieve stoffen
 $A_{\max} e_{\text{inh}}$ (Re) in een B-laboratorium

<i>type bewerking</i>	<i>fysisch-chemische vorm</i>	<i>specifieke afzuig- voorziening</i>	<i>A_{max} e_{inh} (Re)</i>
vervluchtigen	vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	1E -02
	waterige vloeistof, gel	gekeurde zuurkast	1E -02
	minder vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	1E -01
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1E+03
		afzuigpijp	1E+03
zuurkast		1E+03	
gekeurde zuurkast		1E+03	
stoffige bewerking	zeer stoffige vaste stof	gekeurde zuurkast	1E+00
	stoffige vaste stof	gekeurde zuurkast	1E+01
spattende bewerking	vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	1E+00
	waterige vloeistof, gel	gekeurde zuurkast	1E+01
	minder vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	1E+02
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1E+03
		afzuigpijp	1E+03
zuurkast		1E+03	
gekeurde zuurkast		1E+03	
rustige bewerking	vluchtige vloeistof	zuurkast	1E+01
		gekeurde zuurkast	1E+01
	waterige vloeistof, gel	geen	1E -01
		afzuigpijp	1E+00
		zuurkast	1E+02
		gekeurde zuurkast	1E+02
	minder vluchtige vloeistof	geen	1E+00
		afzuigpijp	1E+01
		zuurkast	1E+03
		gekeurde zuurkast	1E+03
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1E+03
		afzuigpijp	1E+03
		zuurkast	1E+03
		gekeurde zuurkast	1E+03
	vaste stof in moeilijk verspreidbare toestand	geen	1E+03
		afzuigpijp	1E+03
		zuurkast	1E+03
		gekeurde zuurkast	1E+03
bewerking met een gesloten systeem	gas	gekeurde zuurkast	1E+01
	vluchtige vloeistof	zuurkast	1E+01
		gekeurde zuurkast	1E+02
	waterige vloeistof, gel	geen	1E -01
		afzuigpijp	1E+00
		zuurkast	1E+02
		gekeurde zuurkast	1E+03
	minder vluchtige vloeistof	geen	1E+00
		afzuigpijp	1E+01
		zuurkast	1E+03
		gekeurde zuurkast	1E+03
	zeer stoffige vaste stof	zuurkast	1E+03
		gekeurde zuurkast	1E+03
	stoffige vaste stof	zuurkast	1E+03
		gekeurde zuurkast	1E+03
vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1E+03	
	afzuigpijp	1E+03	
	zuurkast	1E+03	
	gekeurde zuurkast	1E+03	

Tabel 5 Maximaal per bewerking te hanteren hoeveelheden radioactieve stoffen
 $A_{\max} e_{\text{inh}}$ (Re) in een C-laboratorium

<i>type bewerking</i>	<i>fysisch-chemische vorm</i>	<i>specifieke afzuig- voorziening</i>	<i>A_{max} e_{inh} (Re)</i>
vervluchtigen	vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	1E -03
	waterige vloeistof, gel	gekeurde zuurkast	1E -03
	minder vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	1E -02
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1E+01
		afzuigpijp	1E+01
zuurkast		1E+01	
gekeurde zuurkast		1E+01	
stoffige bewerking	zeer stoffige vaste stof	gekeurde zuurkast	1E -01
	stoffige vaste stof	gekeurde zuurkast	1E+00
spattende bewerking	vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	1E -01
	waterige vloeistof, gel	gekeurde zuurkast	1E+00
	minder vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	1E+01
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1E+01
		afzuigpijp	1E+01
zuurkast		1E+01	
gekeurde zuurkast		1E+01	
rustige bewerking	vluchtige vloeistof	zuurkast	1E+00
		gekeurde zuurkast	1E+00
	waterige vloeistof, gel	geen	1E -02
		afzuigpijp	1E -01
		zuurkast	1E+01
		gekeurde zuurkast	1E+01
	minder vluchtige vloeistof	geen	1E -01
		afzuigpijp	1E+00
		zuurkast	1E+01
		gekeurde zuurkast	1E+01
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1E+01
		afzuigpijp	1E+01
		zuurkast	1E+01
		gekeurde zuurkast	1E+01
	vaste stof in moeilijk verspreidbare toestand	geen	1E+01
		afzuigpijp	1E+01
		zuurkast	1E+01
		gekeurde zuurkast	1E+01
	bewerking met een gesloten systeem	gas	gekeurde zuurkast
vluchtige vloeistof		zuurkast	1E+00
		gekeurde zuurkast	1E+01
waterige vloeistof, gel		geen	1E -02
		afzuigpijp	1E -01
		zuurkast	1E+01
		gekeurde zuurkast	1E+01
minder vluchtige vloeistof		geen	1E -01
		afzuigpijp	1E+00
		zuurkast	1E+01
		gekeurde zuurkast	1E+01
zeer stoffige vaste stof		zuurkast	1E+01
		gekeurde zuurkast	1E+01
stoffige vaste stof		zuurkast	1E+01
		gekeurde zuurkast	1E+01
vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1E+01	
	afzuigpijp	1E+01	
	zuurkast	1E+01	
	gekeurde zuurkast	1E+01	

*Tabel 6 Maximaal per bewerking te hanteren hoeveelheden radioactieve stoffen
 $A_{\max} e_{\text{inh}}$ (Re) in een D-laboratorium*

<i>type bewerking</i>	<i>fysisch-chemische vorm</i>	<i>specifieke afzuig- voorziening</i>	<i>$A_{\max} e_{\text{inh}}$ (Re)</i>
vervluchtigen	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1E -01
		afzuigpijp	1E -01
		zuurkast	1E -01
		gekeurde zuurkast	1E -01
spattende bewerking	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1E -01
		afzuigpijp	1E -01
		zuurkast	1E -01
		gekeurde zuurkast	1E -01
rustige bewerking	waterige vloeistof, gel	geen	1E -02
		afzuigpijp	1E -01
		zuurkast	1E -01
		gekeurde zuurkast	1E -01
	minder vluchtige vloeistof	geen	1E -01
		afzuigpijp	1E -01
		zuurkast	1E -01
		gekeurde zuurkast	1E -01
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1E -01
		afzuigpijp	1E -01
		zuurkast	1E -01
		gekeurde zuurkast	1E -01
	vaste stof in moeilijk verspreidbare toestand	geen	1E -01
		afzuigpijp	1E -01
		zuurkast	1E -01
		gekeurde zuurkast	1E -01
bewerking met een gesloten systeem	waterige vloeistof, gel	geen	1E -02
		afzuigpijp	1E -01
		zuurkast	1E -01
		gekeurde zuurkast	1E -01
	minder vluchtige vloeistof	geen	1E -01
		afzuigpijp	1E -01
		zuurkast	1E -01
		gekeurde zuurkast	1E -01
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1E -01
		afzuigpijp	1E -01
		zuurkast	1E -01
		gekeurde zuurkast	1E -01

Tabel 7 Maximaal per bewerking te hanteren hoeveelheden radioactieve stoffen $A_{\max} e_{\text{inh}}$ (Re) in een nevenruimte bij een laboratorium (binnen een bewaakte of gecontroleerde zone)

<i>type bewerking</i>	<i>fysisch-chemische vorm</i>	<i>specifieke afzuig- voorziening</i>	<i>$A_{\max} e_{\text{inh}}$ (Re)</i>
rustige bewerking	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1E -02
	vaste stof in moeilijk verspreidbare toestand	geen	1E -02
bewerking met een gesloten systeem	waterige vloeistof, gel	geen	1E -02
	minder vluchtige vloeistof	geen	1E -02
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1E -02

3 Toelichting bij de toetsing van beheersmaatregelen voor laboratoria

Aan de afleiding voor de toetsingscriteria voor maximaal te hanteren hoeveelheid radioactieve stoffen liggen meerdere uitgangspunten en aannamen ten grondslag. Om deze criteria op de juiste wijze toe te kunnen passen is het van belang om zich bewust te zijn van deze uitgangspunten en aannamen. Daarom worden de belangrijkste in dit hoofdstuk behandeld. Daarnaast geeft dit hoofdstuk enkele praktische aanwijzingen voor het gebruik van de toetsingscriteria.

De blootstelling aan ioniserende straling wordt onderverdeeld in chronische blootstelling (door bedoelde gebeurtenissen) en incidentele blootstelling (door onbedoelde gebeurtenissen). Chronische blootstelling door inwendige opname kan in de meeste gevallen met relatief eenvoudige middelen tot een aanvaardbaar niveau worden teruggebracht. Daarnaast is het echter van belang incidentele blootstellingen bij een onbedoeld verloop van de handelingen tot een aanvaardbaar niveau te beperken. Een incidentele blootstelling is een blootstelling die niet met zekerheid zal optreden maar waarvan de waarschijnlijkheid van optreden en de grootte van de daarbij eventueel optredende blootstelling van tevoren kunnen worden geschat. Aan een incidentele blootstelling ligt dus altijd een scenario ten grondslag van een onbedoelde gebeurtenis, bijvoorbeeld het scenario dat er breuk optreedt in onderdelen die de activiteit bevatten. Uitgangspunt is dat een individuele werknemer hooguit enkele incidentele blootstellingen per jaar meemaakt.

Chronische blootstelling zou slechts relevant kunnen worden als een werknemer veel ongunstige bewerkingen zou uitvoeren onder ongunstige specifieke afzuigcondities. Dit wordt voorkomen door eisen te stellen aan de specifieke afzuigvoorziening bij de typen bewerking met een hoger risico (zie paragraaf 3.2). Aan de eisen zal in een verantwoorde praktijksituatie normaal gesproken reeds voldaan worden.

Chronische blootstelling door inhalatie van radioactieve stoffen kan verder beperkt worden door een gunstige keuze van fysisch-chemische vorm, type bewerking en specifieke afzuigvoorziening. Tenslotte wordt chronische blootstelling beperkt doordat met het oog op incidentele blootstelling de maximaal te hanteren activiteit wordt beperkt.

3.1 Indeling van typen bewerkingen

Handelingen met radioactieve stoffen kunnen worden opgesplitst in verschillende bewerkingen. Voor een goede balans tussen het risico van een bepaald type bewerking en de te nemen maatregelen is het van belang de bewerkingen in te delen. De indeling vindt plaats op grond van enerzijds het type bewerking en anderzijds de fysisch-chemische vorm van het gehanteerde nuclide. Tabel 8 geeft de verschillende combinaties van typen bewerking en fysisch-chemische vorm weer. De gebruikelijke praktijken gaan uit van een indeling van typen bewerkingen in vier risicoklassen. Aan de bewerkingen binnen een klasse wordt een waarde toegekend van de zogenoemde verspreidingsparameter p . Deze parameter heeft een waarde tussen -4 en -1. De bewerkingen in de klasse met de verspreidingsparameter gelijk aan -4 worden geassocieerd met het hoogste risico; de bewerkingen met de verspreidingsparameter gelijk aan -1 met het laagste risico.

Tabel 8 Toekenning van waarden van de verspreidingsparameter p aan typen bewerkingen

<i>type bewerking</i>	<i>p</i>
vervluchten van een vluchtige vloeistof	-4
vervluchten van een waterige vloeistof, gel	-4
vervluchten van een minder vluchtige vloeistof	-4
vervluchten van een vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	-2
stoffige bewerking met een zeer stoffige vaste stof	-4
stoffige bewerking met een stoffige vaste stof	-4
spattende bewerking met een vluchtige vloeistof	-4
spattende bewerking met een waterige vloeistof	-4
spattende bewerking met een minder vluchtige vloeistof	-4
spattende bewerking met vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	-2
rustige bewerking met een vluchtige vloeistof	-3
rustige bewerking met een waterige vloeistof, gel	-2
rustige bewerking met een minder vluchtige vloeistof	-2
rustige bewerking met een vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	-1
rustige bewerking met een vaste stof in moeilijk verspreidbare vorm	-1
bewerking met een gesloten systeem met een gas	-4
bewerking met een gesloten systeem met een vluchtige vloeistof	-3
bewerking met een gesloten systeem met een waterige vloeistof, gel	-1
bewerking met een gesloten systeem met een minder vluchtige vloeistof	-1
bewerking met een gesloten systeem met een zeer stoffige vaste stof	-3
bewerking met een gesloten systeem met een stoffige vaste stof	-3
bewerking met een gesloten systeem: vloeistof met een niet vluchtig nuclide	-1

3.2 Eisen aan de werkplek op grond van type bewerking

Bewerkingen uit de hogere risicoklassen vinden alleen plaats als de werkplek en specifieke afzuigvoorzieningen aan bepaalde voorwaarden voldoen. Dit kan schematisch weergegeven worden door bij de verschillende combinaties van typen laboratoria en specifieke afzuigvoorzieningen de laagst toegestane waarde aan te geven van de verspreidingsparameter p .

Tabel 9 Laagst toegestane waarde van de verspreidingsparameter p bij gegeven type ruimte en specifieke afzuigvoorziening

type ruimte	specifieke afzuigvoorziening	laagste toegestane waarde verspreidingsparameter p
B-laboratorium	gekeurde zuurkast	-4
	gewone zuurkast	-3
	afzuigpijp	-2
	geen	-2
C-laboratorium	gekeurde zuurkast	-4
	gewone zuurkast	-3
	afzuigpijp	-2
	geen	-2
D-laboratorium	gekeurde zuurkast	-2
	gewone zuurkast	-2
	afzuigpijp	-2
	geen	-2
nevenruimte bij een laboratorium	geen	-1

3.3 Beperking van inhalatie bij incidentele blootstellingen

De mogelijke dosis door inhalatie bij incidentele blootstellingen tijdens handelingen met open bronnen worden beperkt door specifieke maatregelen. De dosis door inhalatie bij een incidentele blootstelling is afhankelijk van de fysisch-chemische eigenschappen van de radioactieve stof, van het type bewerking en van de specifieke afzuigvoorzieningen.

Voor het beschouwen van incidentele blootstellingen worden de scenario's overwogen waarbij één van de drie hierboven genoemde beperkende factoren faalt. In het geval van de fysisch-chemische vorm houdt dat in dat overwogen wordt wat de gevolgen zijn van een onbedoelde ongunstige wijziging van de fysisch-chemische vorm. Zo zou er door een onbedoelde chemische reactie een vluchtig nuclide kunnen ontstaan, terwijl dit niet de bedoeling was. Een voorbeeld van een dergelijke reactie is het ontstaan van vluchtig jodium in een niet vluchtige jodiumoplossing door radiolyse. Afgezien van dit voorbeeld, waarvoor specifieke maatregelen zijn ontwikkeld, is er echter weinig over de aard en frequentie van dit soort gebeurtenissen bekend. In deze leidraad wordt daarom de fysisch-chemische vorm als niet veranderlijk beschouwd.

Er is iets meer bekend over de onbedoelde gebeurtenissen waarbij het type bewerking onbedoeld anders verloopt dan gepland. Bijvoorbeeld: bij een bewerking met een gesloten systeem treedt er breuk op in het onderdeel dat de activiteit bevat. Een ander voorbeeld is het morsen van activiteit. Dit soort gebeurtenissen komt met enige regelmaat in de praktijk voor (zie Tabel 10). Voor de schatting van de

blootstelling als gevolg van zo'n gebeurtenis tijdens het uitvoeren van een bewerking wordt er van uitgegaan dat de (eventuele) blootstellingsbeperkende eigenschappen van de betreffende bewerking volledig wegvallen. Wat resteert zijn de twee overgebleven factoren die de blootstelling kunnen beperken: de fysisch-chemische vorm en de specifieke afzuigvoorziening.

Tenslotte wordt het wegvallen van de derde beschermende factor beschouwd: het wegvallen van de specifieke afzuigvoorziening. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren door stroomuitval of mechanische storingen (bijvoorbeeld snaarbreuk). Ook deze onbedoelde gebeurtenissen treden met enige regelmaat op (zie Tabel 10). Voor de schatting van de blootstelling als gevolg van deze gebeurtenis tijdens een bewerking wordt er van uitgegaan dat de (eventuele) blootstellingsbeperkende eigenschappen van de specifieke afzuigvoorziening volledig wegvallen. Wat resteert zijn de twee overgebleven factoren die de blootstelling kunnen beperken: de fysisch-chemische vorm en het type bewerking.

Tabel 10. Aangenomen frequentie van onbedoelde gebeurtenissen

<i>type onbedoelde gebeurtenis</i>	<i>frequentie (per werknemer)</i>
uitvallen ventilatie	een paar keer per 10 jaar
breuk, kapot springen onderdelen	ongeveer één keer per jaar
lekkage	ongeveer één keer per jaar
morsen tijdens handeling	een paar keer per jaar
aanraken besmette onderdelen	een paar keer per jaar

Uitgaande van de gegeven frequenties van onbedoelde gebeurtenissen is de kans dat er twee beschermende factoren tegelijkertijd uitvallen uiterst klein. Het overgrote deel werknemers zal dit nooit overkomen. Daarom wordt de blootstelling van een gelijktijdig optreden van twee typen onbedoelde gebeurtenis in deze leidraad niet gebruikt voor het normeren van de maximaal te hanteren hoeveelheid radioactieve stoffen.

In situaties waarbij onbedoelde gebeurtenissen veel vaker voorkomen dan in Tabel 10 aangegeven, kan het risico voor de werknemer groter zijn dan in de normale situatie. Het is dan in de eerste plaats van belang maatregelen te nemen om de frequentie van onbedoelde gebeurtenissen te beperken. Indien het terugbrengen van de frequentie van onbedoelde gebeurtenissen in de gegeven situatie niet mogelijk is, dan moeten de risico's voor de werknemer nader geanalyseerd worden.

Uit het bovenstaande volgt dat het van groot belang is om de globale frequentie van onbedoelde gebeurtenissen voor een gegeven praktijksituatie te kennen. De benodigde kennis wordt opgebouwd door een adequate registratie van onbedoelde gebeurtenissen in het stralingshygiënisch dossier.

De parameter f (zie Tabel 11) geeft de invloed van de fysisch-chemische vorm aan op de verspreiding bij de onbedoelde gebeurtenissen zoals hierboven omschreven. Hoe groter de waarde van f , hoe kleiner de mate van verspreiding, en hoe kleiner de blootstelling. Men kiest dus bij voorkeur voor een fysisch-chemische vorm met een hoge waarde van f . Zo is het gunstiger te werken met niet-vluchtige nucliden in een oplossing dan met nucliden in poedervorm.

Tabel 11. Parameter *f*: effect van fysisch-chemische vorm

<i>fysisch-chemische vorm</i>	<i>f</i>
gas	0
vluchtige vloeistof	1
waterige vloeistof, gel (<i>vervluchten</i>)	1
waterige vloeistof, gel (<i>alle andere bewerkingen</i>)	2
minder vluchtige vloeistof (<i>vervluchten</i>)	2
minder vluchtige vloeistof (<i>alle andere bewerkingen</i>)	3
zeer stoffige vaste stof	3
stoffige vaste stof	4
vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	6
vaste stof in moeilijk verspreidbare vorm	6

De parameter *g* (zie Tabel 12) geeft de gecombineerde invloed aan van het type bewerking en van de specifieke afzuigvoorziening bij de onbedoelde gebeurtenissen zoals hierboven omschreven. Hoe groter de waarde van *g*, hoe kleiner de mate van verspreiding, en hoe kleiner de blootstelling bij onbedoelde gebeurtenissen. Men kiest dus bij voorkeur voor een aanpak resulterend in een hoge waarde van *g*.

Tabel 12. Parameter *g*: effect van type bewerking en van specifieke afzuigvoorziening

<i>specifieke afzuigvoorziening</i>	<i>type bewerking</i>	<i>g</i>
geen	vervluchten	0
	spattende bewerking	0
	rustige bewerking	0
	bewerking met een gesloten systeem	0
afzuigpijp	vervluchten	0
	spattende bewerking	1
	rustige bewerking	1
	bewerking met een gesloten systeem	1
zuurkast	vervluchten	0
	spattende bewerking	2
	rustige bewerking	3
	bewerking met een gesloten systeem	3
gekeurde zuurkast	vervluchten	0
	stoffige bewerking	0
	spattende bewerking	2
	rustige bewerking	3
	bewerking met een gesloten systeem	4

Bij de tabel met de waarden voor de parameter *g* kunnen een aantal opmerkingen worden gemaakt. Bij een gegeven combinatie van type bewerking en specifieke afzuigvoorziening zijn de beschermende eigenschappen van beide factoren vergeleken. Verondersteld wordt dat van tijd tot tijd elk van beide factoren volledig weg zal vallen. Bij het wegvallen van de ene beschermende factor wordt de bescherming volledig bepaald door de resterende factor. Daarom wordt de waarde van *g* bepaald door de kleinste van de twee.

Bijvoorbeeld: bij het bewerkingstype "bewerking met een gesloten systeem" is de beschermende factor van het type bewerking hoog. Echter, verondersteld wordt dat er van tijd tot tijd breuk of lekkage zal optreden, waarbij deze bescherming volledig weg valt. De bescherming wordt dan dus bepaald door de specifieke afzuigvoorziening. De incidentele blootstelling wordt effectief beperkt door te zorgen voor goede specifieke afzuigvoorziening, zoals een gekeurde zuurkast.

Is daarentegen de beschermende factor van het bewerkingstype laag, zoals bij een stoffige bewerking, dan wordt de situatie niet geoptimaliseerd door de specifieke afzuigvoorziening te verbeteren van plaatselijke afzuiging naar een gekeurde zuurkast. Verondersteld wordt immers dat de ventilatie van tijd tot tijd uit zal vallen, en dat die situatie bepalend is voor de blootstelling. De gehanteerde activiteit zal bij dergelijke bewerkingen ook in een gekeurde zuurkast dus beperkt moeten blijven.

Bij het werken met gesloten systemen wordt het risico volledig bepaald doordat verondersteld wordt dat er van tijd tot tijd onderdelen breken en dat daarmee de beschermende factor samenhangend met het type bewerking zal wegvallen. De gevolgtrekking van deze benadering is dat de situatie met betrekking tot inhalatie niet geoptimaliseerd zal worden door een rustige bewerking te vervangen door een bewerking met een gesloten systeem, tenzij de bewerking plaatsvindt in een gekeurde zuurkast.

Voor bewerkingen in een isolator wordt geen waarde van g vermeld. Bij het werken in een isolator wordt aangenomen dat de activiteit zich niet via de lucht kan verspreiden richting de werknemer, en dat beschermende werking van de kast altijd in tact blijft. Met het oog op de blootstelling door inhalatie zijn er dus geen beperkingen gesteld aan de hoeveelheid radioactieve stoffen die in een isolator gehanteerd worden. In deze leidraad wordt de maximaal toe te passen hoeveelheid radioactieve stoffen in een isolator begrensd door de maximaal te hanteren hoeveelheid radioactieve stoffen in een bepaalde laboratoriumklasse (zie Tabel 13).

De maatregelen worden getroffen in de hierboven genoemde volgorde (beperken bron, beter afschermen bron en/of aanpassen bewerking, verbeteren specifieke afzuigvoorzieningen). Voor een werksituatie waarin de blootstelling door inhalatie tot een aanvaardbaar niveau is beperkt, geldt dat de gehanteerde hoeveelheid radioactieve stoffen kleiner is dan de maximaal te hanteren hoeveelheid, gegeven door de formule:

$$(A_{\max} e_{\text{inh}})_{\text{inhalatie}} = E_N 10^{f+g}$$

waarin	$A_{\max}$:	maximaal te hanteren activiteit per bewerking in Bq
	e_{inh} :	dosisconversiecoëfficiënt voor inhalatie in Sv/Bq
	f :	parameter die het effect van de fysisch-chemische vorm van de radioactieve stoffen voor de betreffende bewerking in rekening brengt (Tabel 11)
	g :	parameter die het effect van het type bewerking en van de specifieke afzuigvoorziening in rekening brengt (Tabel 12)
	E_N :	dosisbeperking bij een incidentele blootstelling (in Sv)

Het product $A_{\max} e_{\text{inh}}$ heeft de dimensie Sv en speciale eenheid Re. Waarden voor de dosisconversiecoëfficiënt e_{inh} zijn opgenomen in het Besluit stralingsbescherming [16].

De norm E_N voor de maximale blootstelling door inhalatie voor een medewerker die direct betrokken is bij een afwijkende gebeurtenis tijdens een handeling met radioactieve stoffen bedraagt 1 mSv in een B-laboratorium, en 0,1 mSv in alle andere omgevingen. Het verschil tussen deze norm in een B-laboratorium en de andere omgevingen is gekozen in verband met het zwaardere stralingshygiënisch regime in het B-laboratorium. Onder dit zwaardere regime kunnen met behulp van de aanwezige kennis en toezicht en de technische en bouwkundige voorzieningen de gevolgen van ook wat zwaardere incidenten effectief bestreden worden. De blootstelling ten gevolge van een enkele gebeurtenis wordt beperkt tot ca. één tiende van de jaardosislimiet voor blootgestelde werknemers, omdat een werknemer mogelijk meer dan één afwijkende gebeurtenis per jaar meemaakt, en omdat er nog meer vormen van blootstelling kunnen optreden.

Als de direct betrokken werknemer voldoende is beschermd tegen de blootstelling door inhalatie van radioactieve stoffen, dan mag men ervan uitgaan dat ook de overige werknemers voldoende zijn beschermd tegen deze blootstelling, zowel degenen die aanwezig zijn in dezelfde ruimte als degenen die aanwezig zijn in aangrenzende ruimten.

Afgezien van de specifieke afzuigvoorziening zijn eventuele laboratoriumvoorzieningen en zoneringsmaatregelen van ondergeschikt belang voor de blootstelling door inhalatie voor de direct betrokken werknemer. Daarom zijn deze zaken niet van invloed op deze berekening van de maximaal te hanteren hoeveelheid.

3.4 Maximaal te hanteren hoeveelheid op grond van de laboratoriumklasse

Naast de beperking van de maximaal te hanteren hoeveelheid radioactieve stoffen zoals besproken in de vorige paragraaf wordt de maximaal te hanteren hoeveelheid beperkt op grond van de laboratoriumklasse. De voorwaarden voor bouwkundige en organisatorische maatregelen in een bepaalde laboratoriumklasse zijn te vinden in hoofdstuk 1 "Beheersmaatregelen". De maximaal op enig moment aanwezige hoeveelheid radioactieve stoffen bedraagt $10.000 \text{ Re}_{\text{inh}}$, onafhankelijk van de laboratoriumklasse. De op enig moment aanwezige radioactieve stoffen omvatten de gehanteerde hoeveelheden, de voorraad in de bergplaats en het radioactief afval. Dit maximum is onafhankelijk van de laboratoriumklasse, omdat het beperkende scenario verspreiding van radioactieve stoffen vanuit de bergplaats bij brand is, en de eisen met betrekking tot brandwerendheid van de bergplaats bij alle laboratoriumklassen hetzelfde zijn. De hoeveelheid radioactieve stoffen die zich buiten de bergplaats bevindt wordt wel verschillend begrensd afhankelijk van de laboratoriumklasse, namelijk door de maximaal te hanteren hoeveelheid.

De maximaal per bewerking te hanteren hoeveelheid radioactieve stoffen in een gegeven laboratoriumklasse, $(A_{\text{max}} e_{\text{inh}})_{\text{laboratorium}}$ wordt beperkt tot de in Tabel 13 genoemde hoeveelheden.

Tabel 13 Maximaal te hanteren hoeveelheden radioactieve stoffen $(A_{\text{max}} e_{\text{inh}})_{\text{laboratorium}}$ (Re) op grond van de laboratoriumklasse

<i>classificatie laboratorium</i>	$(A_{\text{max}} e_{\text{inh}})_{\text{laboratorium}}$ (Re)
B-laboratorium	1000
C-laboratorium	10
D-laboratorium	0,1
nevenruimte bij laboratorium	0,01

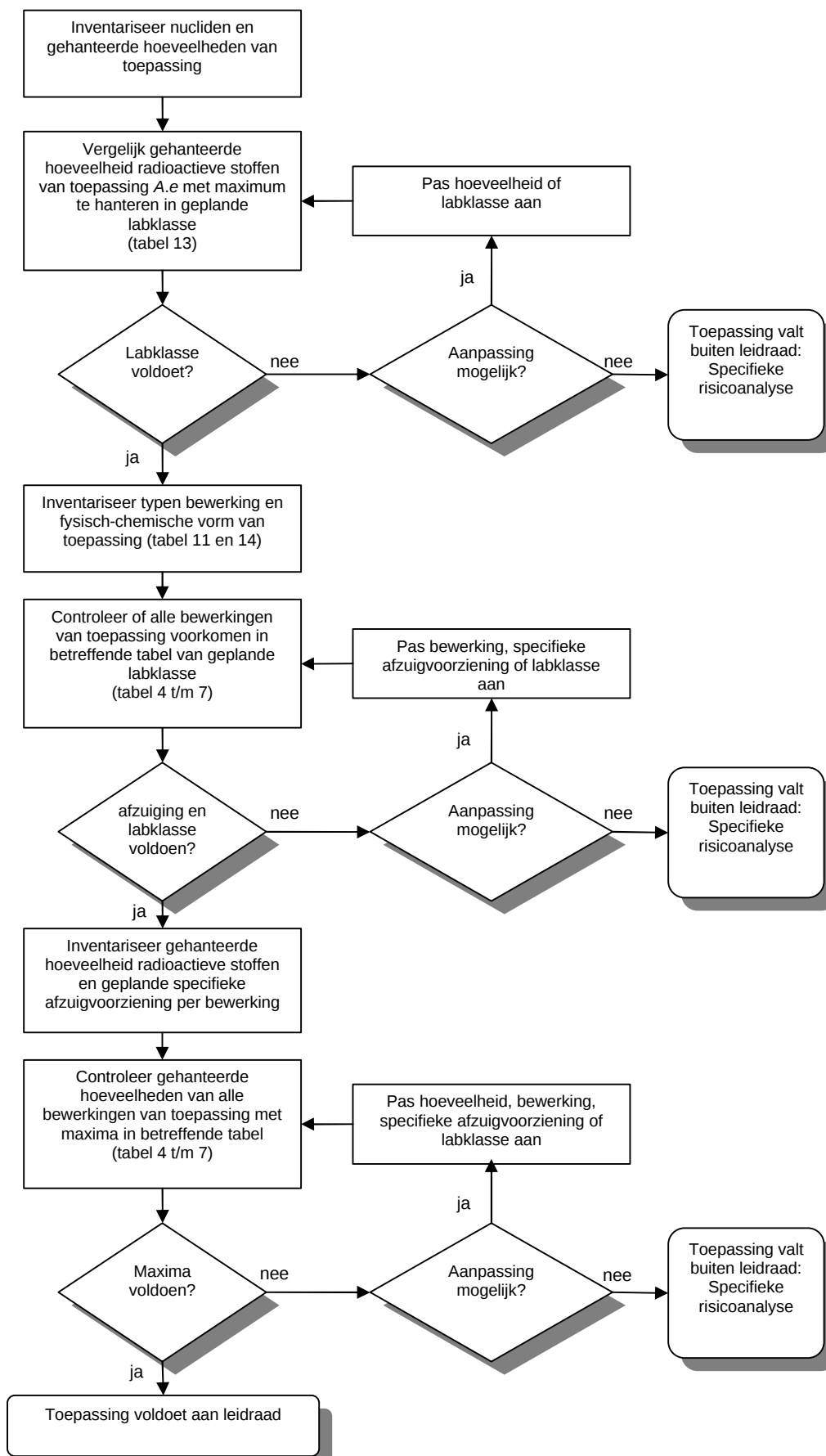
Deze beperking van de maximaal te hanteren hoeveelheid is onafhankelijk van type bewerkingen, van fysisch-chemische vorm van de radioactieve stoffen en van de specifieke ventilatievoorzieningen, omdat de beperking gebaseerd is op de zwaarte van het stralingshygiënische regime in het betreffende laboratorium.

3.5 Bepaling van de maximaal te hanteren hoeveelheid

De uiteindelijk maximaal per bewerking te hanteren hoeveelheid radioactieve stoffen in een laboratorium wordt bepaald door de combinatie van de maximaal te hanteren hoeveelheid op grond van beperking van blootstelling door inhalatie bij incidentele gebeurtenissen en die op grond van de laboratoriumklasse. Daarbij is de kleinste van de twee maxima $(A_{\text{max}} e_{\text{inh}})_{\text{inhalatie}}$ en $(A_{\text{max}} e_{\text{inh}})_{\text{laboratorium}}$ bepalend.

3.6 Stroomdiagram voor toetsing van een geplande toepassing

Figuur 1 geeft een mogelijke werkwijze aan voor toetsing van een geplande toepassing aan de toetsingscriteria. Eerst wordt getoetst of de maximaal gehanteerde hoeveelheid radioactieve stoffen van de geplande toepassing past in de geplande laboratoriumklasse. Als dit niet het geval is, wordt allereerst opnieuw bezien of de geplande hoeveelheid redelijkerwijs gereduceerd kan worden, dan wel of de geplande toepassing naar een hoger geclassificeerd laboratorium kan worden verplaatst.



Figuur 1 Stroomdiagram voor toetsing van een geplande toepassing aan de criteria

Vervolgens wordt de toets opnieuw uitgevoerd. Indien de toets negatief uitvalt, past de geplande toepassing niet binnen het stramien van deze leidraad.

Als de geplande hoeveelheid toe te passen radioactieve stoffen past binnen de geplande laboratoriumklasse, dan wordt meer in detail getoetst of de combinatie van geplande specifieke ventilatievoorziening en geplande laboratoriumklasse voldoende is voor de geplande bewerkingen. Dit gebeurt door te controleren of de geplande combinatie voorkomt in Tabel 4 tot en met Tabel 7. Is dit niet het geval, dan wordt zo mogelijk het type bewerking, de specifieke afzuigvoorziening of de laboratoriumklasse aangepast en wordt de toets opnieuw uitgevoerd. Als uiteindelijk deze toets negatief uitvalt, past de geplande toepassing niet binnen het stramien van deze leidraad.

Is het resultaat van de tweede toets positief, dan wordt in detail getoetst of de gehanteerde hoeveelheid radioactieve stoffen voor alle geplande bewerkingen onder de betreffende maxima blijven voor de combinatie van geplande specifieke afzuigvoorziening en laboratoriumklasse. Als de toets voor bepaalde bewerkingen negatief uitvalt, wordt voor die specifieke bewerkingen de mogelijkheden voor aanpassing van de situatie opnieuw bezien.

Kan de situatie niet voldoende worden aangepast, dan valt de toepassing definitief buiten het stramien van deze leidraad. Er zal dan met een andere methode moeten worden aangetoond dat de risico's voldoende worden beheerst, zowel voor wat betreft chronische blootstelling, incidentele blootstelling als voor blootstelling bij incidenten zoals brand.

Tabel 14 Indeling van veelvoorkomende laboratoriumbewerkingen

<i>type bewerking</i>	<i>Voorbeelden</i>
bewerking met een gesloten systeem	centrifugeren gesloten buizen injecteren/ optrekken spuiten intra arteriële injectie proefdier intra veneuze injectie proefdier tellen trappen van gas verplaatsen gesloten systeem vortexen gesloten buizen
rustige bewerking	autoradiografie buffers afgieten chromatograferen electroforese elueren embedding extraheren filtreren fixeren formuleren harvesten homogeniseren hybridiseren incuberen injecteren/ optrekken open labelen lyseren (hydrolyse, electrolyse) manipuleren mengsel maken nat schoonmaken van proefdierkooien obductie proefdier operatie proefdier met narcose oxideren pipetteren poolen fracties reactie stoppen reageren resectie proefdierorganen in vials RIA afwerken RIA inzetten verplaatsen open systeem wassen zuiveren
spattende bewerking	centrifugeren open buizen decapitatie proefdier operatie proefdier zonder narcose ultrasoon trillen vortexen open buizen
stoffige bewerking	droog schoonmaken van zaagsel bevattende proefdierkooien fijn stampen mengen van poeders
vervluchtigen	drogen droogdampen extracties met oplosmiddelen gel drogen indampen opkoken uitdampen met vacuüm verhitten vriesdrogen (lyofiliseren)

4 Verklaring van enkele gebruikte termen

afzuigpijp	systeem waarmee lucht wordt afgezogen direct aan de bron, zodat het grootste deel van vrijkomende stoffen hiermee wordt afgevoerd en dus niet richting werknemer gaat. Het effect van een afzuigpijp wordt in rekening gebracht door de keuze van de fractionele verwijderingsconstanten van het HARAS-model: $\lambda_{zv} = 100 \text{ h}^{-1}$ en $\lambda_{zw} = 5 \text{ h}^{-1}$
bewerking	stappen waaruit handelingen met open bronnen zijn opgebouwd
bewerking met een gesloten systeem	bewerking waarbij de radioactieve stof niet direct in contact is met de omringende lucht
chronische blootstelling	blootstelling als gevolg van bedoelde gebeurtenissen, ofwel handelingen die volgens plan verlopen
gekeurde zuurkast	zuurkast gekeurd volgens de norm NEN-EN 14175 met een containment factor in de orde van 100 of hoger. Het effect van een gekeurde zuurkast wordt in rekening gebracht door de keuze van de fractionele verwijderingsconstanten van het HARAS-model: $\lambda_{zv} = 1000 \text{ h}^{-1}$ en $\lambda_{zw} = 0,1 \text{ h}^{-1}$
gewone zuurkast	zuurkast die niet is gekeurd volgens de algemeen aanvaarde norm. Het effect van een plaatselijke afzuiging wordt in rekening gebracht door de keuze van de fractionele verwijderingsconstanten van het HARAS-model: $\lambda_{zv} = 500 \text{ h}^{-1}$ en $\lambda_{zw} = 1 \text{ h}^{-1}$
incidentele blootstelling	blootstelling als gevolg van onbedoelde gebeurtenissen, ofwel blootstelling als gevolg van handelingen die volgens niet plan verlopen
isolator	gesloten werkkast, handschoenenkast of microbiologische veiligheidswerkkast klasse III.
specifieke afzuigvoorziening	isolator, gekeurde zuurkast, gewone zuurkast of een afzuigpijp

BIJLAGE II

VERANTWOORDING EENVOUDIGE REKENREGEL INHALATIE

1 Inleiding

Een volledige risicoanalyse voor handelingen met open bronnen is complex vanwege de verschillende personen die beschouwd kunnen worden (direct betrokken werknemer, overige werknemers (inclusief bezoekers van de instelling e.d.), de scenario's die een rol kunnen spelen (normale routine en onbedoelde gebeurtenissen), de diversiteit aan handelingen en specifieke omstandigheden, en de verschillende blootstellingspaden (inhalatie van radioactiviteit in lucht, ingestie van activiteit via besmetting van handen, blootstelling van de huid door een huidbesmetting, externe stralingsbelasting door een (punt)bron of door submersie, etcetera). Als voor het toetsen van de beheersmaatregelen eenvoudige rekenregels worden toegepast, gebaseerd op modellen, dan wordt de werkelijkheid altijd in meer of mindere mate geweld aangedaan. Hoe simpeler het model, hoe meer aannames er gedaan moeten worden. In dit deel worden de gekozen modellen en bijbehorende aannames verantwoord en uitgelegd. Een deel van de aannames wordt ondersteund door de uitkomsten van een landelijk gehouden enquête.

Voor de toetsing van de beheersmaatregelen ter beperking van de blootstelling door inhalatie voor de direct betrokken werknemer wordt een eenvoudige rekenregel toegepast. Deze rekenregel is gebaseerd op het HARAS-rapport en op eenduidige normen voor de maximale blootstelling door inhalatie. Deze bijlage is gewijd aan de afleiding van de eenvoudige rekenregel met behulp van het HARAS-model.

2 Belastingsfactor voor inhalatie

De blootstelling door inhalatie van radioactieve stoffen wordt kwantitatief uitgedrukt in de effectieve (volg)dosis, E_{inh} , welke wordt bepaald door de ingeademde activiteit A_{inh} en de dosisconversiecoëfficiënt e_{inh} :

$$E_{inh} = A_{inh} e_{inh}$$

Een situatie kan als acceptabel worden beschouwd als de dosis beperkt wordt tot een zekere norm ofwel dosisbeperking, E_N :

$$E_{inh} < E_N$$

ofwel:

$$\frac{A_{inh} e_{inh}}{E_N} < 1$$

Door het definiëren van de belastingsquotiënt Q met de formule:

$$Q = \frac{A_{inh} e_{inh}}{E_N}$$

kan de acceptabele situatie worden samengevat met de voorwaarde:

$$Q < 1$$

3 Dosisbeperkingen voor inhalatie

In dit rapport wordt het uitgangspunt gekozen dat de chronische blootstelling door inhalatie beperkt zou moeten blijven tot 1 mSv per jaar, uitgaande van 1000 bewerkingen per jaar per werknemer. Het uitgangspunt is dus, dat normaal gesproken een werknemer die werkt met open bronnen niet (uitsluitend) op grond van de chronische blootstelling door inhalatie geclassificeerd hoeft te worden als blootgestelde werknemer. Dit levert een dosisbeperking E_N gelijk aan 1 μ Sv voor alle bewerkingen die volgens plan verlopen. Als deze dosisbeperking per bewerking wordt aangehouden dan zal de jaarlijkse blootstelling door inhalatie in het algemeen veel lager uitvallen, omdat slechts een deel van alle bewerkingen het maximum zullen benaderen.

Naast een dosisbeperking voor chronische blootstelling door bedoelde gebeurtenissen, is er een dosisbeperking per onbedoelde gebeurtenis nodig. Deze dosisbeperking per onbedoelde gebeurtenis mag groter zijn dan die voor bedoelde gebeurtenissen, omdat de onbedoelde gebeurtenissen minder vaak zullen voorkomen.

In dit rapport wordt als uitgangspunt gekozen dat de dosis ten gevolge van een onbedoelde gebeurtenis beperkt zou moeten blijven tot 1 mSv bij handelingen in een B-laboratorium en 0,1 mSv in alle andere situaties. Het verschil tussen deze norm in een B-laboratorium en de andere omgevingen kan worden gemotiveerd door te stellen dat een hogere dosishandicap past bij het zwaardere stralingshygiënisch regime. Onder dit zwaardere regime mag verondersteld worden dat met behulp van de aanwezige kennis en toezicht en de technische en bouwkundige voorzieningen de gevolgen van de wat zwaardere incidenten effectief bestreden kunnen worden. De blootstelling door inhalatie ten gevolge van een enkele gebeurtenis in een B-laboratorium wordt beperkt tot ca. één tiende van de jaardosislimiet voor blootgestelde werknemers, omdat uit voorzorg verondersteld wordt dat bij toeval meerdere onbedoelde gebeurtenissen binnen één jaar kunnen plaatsvinden, en er mogelijk nog meer vormen van blootstelling optreden. Om vergelijkbare redenen wordt de blootstelling door inhalatie ten gevolge van een enkele gebeurtenis in een andere werkplek dan een B-laboratorium beperkt tot één tiende van de jaardosislimiet voor niet-blootgestelde werknemers.

Door het nemen van brongerichte maatregelen zou het in de meeste gevallen mogelijk moeten zijn de blootstelling door inhalatie te beperken tot waarden lager dan de limiet voor niet-blootgestelde werknemers. Dit betreft typisch handelingen die kunnen plaatsvinden in een C- of D-laboratorium. Dit is in lijn met de strategie zoals toegelicht in AI-27.

Er zijn uiteraard omstandigheden denkbaar waarbij limieten voor niet-blootgestelde werknemers kunnen worden overschreden, terwijl alle redelijkerwijs te nemen maatregelen gericht op de bron en de werkplek reeds genomen zijn. Dit betreft typisch de handelingen die plaatsvinden in een B-laboratorium.

4 De transferfractie

Het centrale probleem bij risicoanalyses voor inwendige blootstellingen is in het algemeen het schatten van de ingeademde activiteit, A_{inh} . Voor bepaalde omstandigheden zal de ingeademde activiteit een zekere fractie T_f bedragen van de gehanteerde activiteit A_j . In formulevorm:

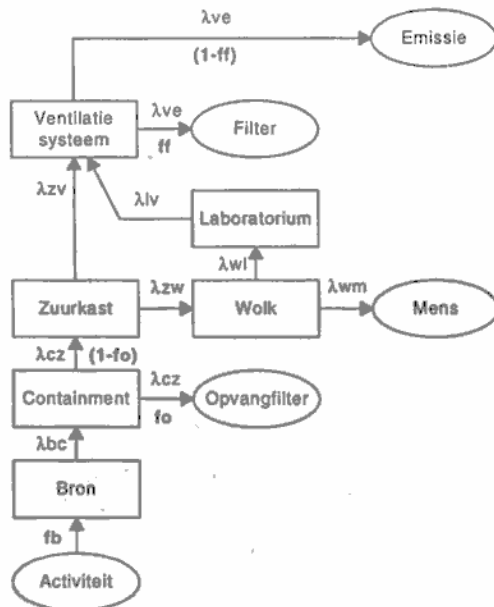
$$T_f = \frac{A_{inh}}{A_j}$$

T_f wordt de transferfractie voor de betreffende omstandigheden genoemd. Substitutie in de formule voor het belastingsquotiënt levert:

$$Q = \frac{A_j e_{inh}}{E_N} T_f$$

Het HARAS-model is een model voor het schatten van de transferfractie T_f (zie Figuur 2). Het model berekent de transferfractie door de verspreiding van de activiteit door een aantal compartimenten door te rekenen voor een specifieke situatie.

Rekenmodel voor luchtverspreiding



LIJST VAN SYMBOLEN

f_b :	de fractie van de totale activiteit die beschikbaar komt voor verspreiding
λ_{bc} :	de fractionele verwijderingsconstante (h^{-1}) vanuit de bron naar het containment
λ_{cz} :	de fractionele verwijderingsconstante (h^{-1}) vanuit het containment naar de zuurkast
f_o :	het filterrendement van het filter van het containment
λ_{zv} :	de fractionele verwijderingsconstante (h^{-1}) vanuit de zuurkast naar het ventilatiesysteem
λ_{ve} :	de fractionele verwijderingsconstante (h^{-1}) vanuit het ventilatiesysteem naar de emissie
f_f :	de filterfractie van het filter van het ventilatiesysteem
λ_{zw} :	de fractionele verwijderingsconstante (h^{-1}) vanuit de zuurkast naar de 'wolk' voor de zuurkast
λ_{wm} :	de fractionele verwijderingsconstante (h^{-1}) vanuit de 'wolk' voor de zuurkast naar de mens/werker
λ_{wl} :	de fractionele verwijderingsconstante (h^{-1}) vanuit de 'wolk' voor de zuurkast naar het laboratorium
λ_{lv} :	de fractionele verwijderingsconstante (h^{-1}) vanuit het laboratorium naar het ventilatiesysteem

*Figuur 2. Stroomschema van het HARAS-model
(overgenomen uit het HARAS-rapport)*

Voor de berekening van de transferfracties in dit rapport is gebruik gemaakt van de rekenkundige oplossing [17] van de in het HARAS rapport gegeven integraal. Deze rekenmethode is hieronder weergegeven. Deze methode is iets anders dan de benaderingsberekeningen die in het HARAS rapport worden gedaan. Door dit verschil kunnen berekende transferfracties in de afronding iets verschillen.

$$\tau_f = lekfractie * (l_{b \rightarrow c} * l_{c \rightarrow z} * l_{z \rightarrow w} * l_{w \rightarrow m} * (A + B + C + D + E))$$

waarin:

$$A = \frac{e^{-l_b * t}}{(l_c - l_b) * (l_z - l_b) * (l_w - l_b) * (l_m - l_b)}$$

$$B = \frac{e^{-lc* t}}{(l_b - l_c) * (l_z - l_c) * (l_w - l_c) * (l_m - l_c)}$$

$$C = \frac{e^{-l_z * t}}{(l_b - l_z) * (l_c - l_z) * (l_w - l_z) * (l_m - l_z)}$$

$$D = \frac{e^{-l_w * t}}{(l_b - l_w) * (l_c - l_w) * (l_z - l_w) * (l_m - l_w)}$$

$$E = \frac{e^{-l_m * t}}{(l_b - l_m) * (l_c - l_m) * (l_z - l_m) * (l_w - l_m)}$$

$$l_{b \rightarrow c} = l_{bron \rightarrow containment}$$

$$l_{c \rightarrow z} = l_{containment \rightarrow zuurkast}$$

$$l_{z \rightarrow w} = l_{zuurkast \rightarrow wolk}$$

$$l_{w \rightarrow m} = l_{wolk \rightarrow mens}$$

$$l_b = l_{bron} = l_{b \rightarrow c} + l_{verval}$$

$$l_c = l_{containment} = l_{c \rightarrow z} + l_{verval}$$

$$l_z = l_{zuurkast} = l_{zuurkast \rightarrow wolk} + l_{zuurkast \rightarrow ventilatie} + l_{verval}$$

$$l_w = l_{wolk} = l_{wolk \rightarrow lab} + l_{wolk \rightarrow mens} + l_{verval}$$

$$l_m = l_{mens} = 0$$

Een aantal parameters in de modelberekening wordt passend gekozen op de specifieke situatie. De *lekfractie* is de fractie van de totale hoeveelheid gehanteerde activiteit die in aanmerking komt om zich in de lucht te verspreiden. Deze hangt af van de fysisch-chemische eigenschappen van de gehanteerde stof en van het type bewerking. De fractionele verwijderingsconstante (h^{-1}) l vanuit het ene naar het andere compartiment hangt af van bijvoorbeeld de ventilatievoorzieningen. De tijd per bewerking t met een radioactieve stof is vanuit oogpunt van eenvoud in dit rapport vastgesteld op 12 minuten.

Het model levert in de meeste gevallen slechts een schatting voor de ordegraad van de transferfractie. Daarom wordt de transferfractie geschreven als een macht van 10:

$$T_f = 10^{-n}$$

waarbij n een geheel positief getal is. Dit levert de volgende formule voor het belastingsquotiënt Q :

$$Q = \frac{A_j e_{inh}}{E_N} 10^{-n}$$

waarbij:

$$n = -\log(T_f)$$

en de waarde van n wordt afgerond op een geheel getal. De afronding gebeurt op de gebruikelijke wijze, zodat de transferfractie maximaal wordt overschat of onderschat met ongeveer een factor 3.

De parameter n geeft de invloed weer van de specifieke situatie van de handelingen op de transferfractie. Deze parameter kan worden geschreven als de som van een aantal parameters die elk de invloed van een bepaald aspect van de specifieke situatie weergeven. In dit rapport wordt aangenomen dat de transferfractie wordt bepaald door drie invloeden: de fysisch-chemische eigenschappen van de gehanteerde stof, het type bewerking en de ventilatievoorzieningen. De parameter n is dus de som van een drietal parameters, te weten:

- f : parameter die het effect van de fysisch-chemische eigenschappen van de stof in rekening brengt,
- b : parameter die het effect van het type bewerking in rekening brengt,
- v : parameter die het effect van de specifieke afzuigvoorziening in rekening brengt.

Substitutie van deze parameters in de formule voor het belastingsquotiënt geeft:

$$Q = \frac{A_j e_{inh}}{E_N} 10^{-(f+b+v)}$$

5 Chronische blootstelling

Met chronische blootstelling wordt de blootstelling aangeduid die het gevolg is van bedoelde gebeurtenissen, in dit geval bewerkingen die volgens plan verlopen. Voor chronische blootstelling zal de transferfractie in het algemeen klein zijn, omdat er gepaste maatregelen worden genomen die de inname van radioactieve stoffen beperken.

In deze paragraaf wordt aangegeven hoe de som $f + b + v$ wordt berekend uit de transferfractie voor bewerkingen die volgens plan verlopen. De berekening wordt in twee gedeelten gesplitst: eerst wordt berekend wat de transferfractie zou zijn als er geen ventilatievoorzieningen waren; dit levert de waarden voor de som van de parameters f en b . Vervolgens wordt berekend hoe de transferfractie verandert door de invloed van het ventilatiesysteem; dit levert de waarden voor de parameter v .

5.1 Invloed fysisch-chemische vorm en type bewerking

Voor 22 combinaties van fysisch-chemische vorm en type bewerking werd de transferfractie berekend, met de veronderstelling dat de enige luchtverversing afkomstig is van natuurlijke ventilatie van de ruimte (ventilatievoud 2 h^{-1}). De logaritme van de transferfractie geeft de som van de parameters f en b . Gesteld wordt dus dat de parameter v , die het effect van de ventilatie in rekening brengt, onder deze omstandigheden gelijk is aan 0. Dat betekent dat het effect van de natuurlijke ventilatie feitelijk wordt ondergebracht in de som van de parameters f en b . Het resultaat van deze berekeningen is weergegeven in Tabel 15.

Tabel 15 Transferfractie bedoelde gebeurtenissen bij natuurlijke ventilatie

<i>bewerking</i>	<i>T_f</i>	<i>f + b</i>
vervluchten van een vluchtige vloeistof	1,4E-01	1
vervluchten van een waterige vloeistof, gel	9,1E-02	1
vervluchten van een minder vluchtige vloeistof	1,5E-02	2
vervluchten van een vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	1,6E-06	6
stoffige bewerking met een zeer stoffige vaste stof	1,6E-03	3
stoffige bewerking met een stoffige vaste stof	1,6E-04	4
spattende bewerking met een vluchtige vloeistof	9,1E-04	3
spattende bewerking met een waterige vloeistof	1,5E-04	4
spattende bewerking met een minder vluchtige vloeistof	1,6E-05	5
spattende bewerking met vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	1,6E-08	8
rustige bewerking met een vluchtige vloeistof	9,1E-05	4
rustige bewerking met een waterige vloeistof, gel	1,5E-05	5
rustige bewerking met een minder vluchtige vloeistof	1,6E-06	6
rustige bewerking met een vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	1,6E-09	9
rustige bewerking met een vaste stof in een moeilijk verspreidbare vorm	1,6E-09	9
bewerking met een gesloten systeem met een gas	1,6E-04	4
bewerking met een gesloten systeem met een vluchtige vloeistof	9,1E-06	5
bewerking met een gesloten systeem met een waterige vloeistof, gel	1,5E-06	6
bewerking met een gesloten systeem met een minder vluchtige vloeistof	1,6E-07	7
bewerking met een gesloten systeem met een zeer stoffige vaste stof	1,6E-07	7
bewerking met een gesloten systeem met een stoffige vaste stof	1,6E-08	8
bewerking met een gesloten systeem: vloeistof met een niet vluchtig nuclide	1,6E-10	10

5.2 Invloed ventilatievoorzieningen

De parameter v geeft een maat voor het effect van de ventilatiemaatregelen op de inhalatie van radioactieve stoffen door de direct betrokken medewerker. Bij berekening van de waarden van v is zowel de invloed van de specifieke afzuigvoorzieningen als van geforceerde (niet-natuurlijke) ventilatie van de gehele ruimte nagegaan.

De transferfracties voor de 22 combinaties van fysisch-chemische vorm en type bewerking zijn berekend voor de ventilatiesituaties weergegeven in Tabel 16.

Tabel 16. Fractionele verwijderingsconstanten (h^{-1}) voor de beschouwde ventilatiesituaties

<i>ventilatievoorziening</i>	λ_{zw}	λ_{zv}	λ_{wl}	λ_{wm}	λ_{lv}
geen	10000	0	2	1	2
laboratoriumventilatie	10000	0	5	1	5
afzuigpijp	5	100	5	1	5
gewone zuurkast	1	500	5	1	5
gekeurde zuurkast	0,1	1000	5	1	5

Zoals hierboven beschreven krijgt v bij afwezigheid van ventilatievoorzieningen de waarde 0. De waarden van v voor de overige situaties worden weergegeven als gehele positieve getallen.

Uit de berekening van de transferfracties blijkt, dat de verhouding van de transferfracties bij de verschillende ventilatiesituaties onafhankelijk zijn van het type bewerking en de fysisch-chemische samenstelling van de radioactieve stof, zoals verwacht kan worden op grond van het compartimentenmodel. De parameter v voor een bepaalde ventilatiesituatie wordt berekend door de logaritme te nemen van de verhouding van de transferfractie bij de gegeven ventilatiesituatie en de transferfractie bij natuurlijke ventilatie, en deze waarde af te ronden op een geheel getal. Het resultaat is weergegeven in tabel 7

Tabel 17. De ventilatieparameter v

<i>ventilatievoorziening</i>	v
geen	0
laboratoriumventilatie	0
afzuigpijp	1
gewone zuurkast	3
gekeurde zuurkast	4

De HARAS-berekeningen tonen aan dat de invloed van de ventilatie van de gehele ruimte op de transferfractie naar de werknemer zeer beperkt is. Daarom komt het ventilatievoud van de ruimte niet tot uitdrukking in de waarde van v . Om deze reden wordt de parameter v aangeduid als de parameter die de *specifieke afzuigvoorziening* in rekening brengt.

5.3 Maximaal te hanteren hoeveelheid vanwege chronische blootstelling

De maximaal te hanteren hoeveelheid radioactieve stoffen met het oog op beperking van de chronische blootstelling wordt berekend door het belastingsquotiënt Q gelijk te stellen aan 1. Dit levert de voorwaarde:

$$A_j e_{\text{inh}} < E_N 10^{f+b+v}$$

Het product $A e_{\text{inh}}$ heeft de dimensie Sv, en wordt uitgedrukt in de speciale eenheid Re_{inh} . Voor de berekening is naast de waarden voor de parameters $(f + b)$ en v , een waarde voor de dosisbeperking per (bedoelde) gebeurtenis nodig. In dit rapport wordt het uitgangspunt gekozen dat de chronische blootstelling door inhalatie beperkt zou moeten blijven tot 1 mSv per jaar, uitgaande van 1000 bewerkingen per jaar per werknemer. Dit levert een dosisbeperking van 1 μSv voor alle bewerkingen die volgens plan verlopen.

Van bepaalde bewerkingen met een grote verspreidingskans, zoals vervluchtigen en stoffige bewerkingen, wordt uitgegaan van minimum-eisen aan de specifieke afzuigvoorzieningen.

De maximaal te hanteren hoeveelheid radioactieve stoffen met het oog op beperking van de chronische blootstelling berekend met de parameterwaarden uit Tabel 15 en Tabel 17 en rekening houdend met de minimum-eisen aan de specifieke afzuigvoorziening beslaat het bereik 10^{-1} Re (voor het vervluchtigen van een vluchtige of waterige vloeistof in een gekeurde zuurkast) tot 10^{+8} Re (voor bewerkingen met een gesloten systeem met niet vluchtige nucliden, in een gekeurde zuurkast). Tabel 21 geeft het complete overzicht weer.

6 Incidentele blootstelling

Met incidentele blootstelling wordt blootstelling aangeduid die het gevolg is van onbedoelde gebeurtenissen. Bij onbedoelde gebeurtenissen kan de bescherming tegen inhalatie van radioactieve stoffen gedeeltelijk wegvallen, waardoor de transferfractie toeneemt. Naast een schatting van de grootte van de incidentele blootstelling, zijn schattingen nodig van de kans op deze onbedoelde gebeurtenissen. Deze schattingen worden ontleend aan de resultaten van de enquête onder vergunninghouders.

Van de categorieën gebeurtenissen zijn “kapot springen onderdelen”, “lekkage” en “morsen tijdens handelingen” van invloed op het verloop van het type handeling en daarmee op de waarde van de parameter b . De categorie “uitvallen van de ventilatie” heeft invloed op de ventilatiesituatie waarin een bewerking plaatsvindt en daarmee op de ventilatieparameter v . De afwijkende gebeurtenissen “aanraken besmette onderdelen” en “procedurefouten” zijn van invloed op de mate waarop radioactiviteit zich kan verspreiden buiten de bewaakte of gecontroleerde zone, maar niet op de blootstelling door inhalatie.

De manier waarop de gebeurtenissen ingrijpen op de verspreiding naar de omgeving en de parameters b en v wordt uitgewerkt in de volgende paragrafen.

6.1 Falen van het type bewerking

Met het HARAS-model kunnen de transferfracties berekend worden voor de verschillende onbedoelde gebeurtenissen. Het in rekening brengen van de verschillende scenario's gebeurt door te rekenen met gewijzigde lekfracties, en in sommige gevallen met gewijzigde verdampingsconstanten.

Kapot springen onderdelen

Hier gaat het om systemen, die plots openbreken waardoor de lekfractie toeneemt t.o.v. de normale situatie:

Gesloten systemen:	lekfractie kan toenemen van	0,0001 tot maximaal 1
Rustige bewerking:	lekfractie kan toenemen van	0,001 tot maximaal 1
Spattende bewerking:	lekfractie kan toenemen van	0,01 tot maximaal 1
Vervluchtigen:	geen effect: lekfractie = 1	

Stoffige bewerking: geen effect: lekfractie = 1

Een uitzondering vormt de gas of damp in een houder. Hier wordt standaard uitgegaan van een lekfractie van 1. De verdampingsconstante wordt echter gekozen op 0,01. Bij kapot springen kan de activiteit zich plots snel verspreiden. De verdampingsconstante verschuift hierdoor naar 100.

Lekkage

Bij lekkage komt activiteit onbedoeld uit een opstelling vrij. Dit gaat geleidelijker dan bij het kapot springen van onderdelen. De maximale hoeveelheid vrijkomende activiteit wordt hierdoor een factor 10 kleiner genomen dan bij het kapot springen van onderdelen.

Gesloten systemen: lekfractie kan toenemen van 0,0001 tot maximaal 0,1

Rustige bewerking: lekfractie kan toenemen van 0,001 tot maximaal 0,1

Spattende bewerking: lekfractie kan toenemen van 0,01 tot maximaal 0,1

Vervluchtigen: geen effect: lekfractie = 1

Stoffige bewerking: geen effect: lekfractie = 1

Een uitzondering vormt de gas of damp in een houder. Hier wordt standaard uitgegaan van een lekfractie van 1. De verdampingsconstante wordt echter gekozen op 0,01. Bij lekkage kan de activiteit zich plots snel verspreiden, echter minder snel dan bij het kapot springen van onderdelen. De verdampingsconstante verschuift hierdoor naar 10.

Morsen tijdens handeling

Bij morsen komt onbedoeld activiteit uit de opstelling vrij. De hoeveelheid activiteit die hierbij vrij komt is sterk afhankelijk van de specifieke activiteit van het gebruikte nuclide. Op basis van interne besmettingsgegevens van het Radionuclidencentrum van de Vrije Universiteit is uitgegaan van een gemiddeld vrijkomen van 1%.

Gesloten systemen: lekfractie kan toenemen van 0,0001 tot maximaal 0,01

Rustige bewerking: lekfractie kan toenemen van 0,001 tot maximaal 0,01

Spattende bewerking: geen effect: lekfractie = 0,01

Vervluchtigen: geen effect: lekfractie = 1

Stoffige bewerking: geen effect: lekfractie = 1

De verspreidingsparameter verandert bij morsen niet.

De parameter b is afhankelijk van het type bewerking. De onbedoelde gebeurtenissen “kapot springen onderdelen”, “lekkage” en “morsen tijdens handelingen” kunnen worden opgevat als gebeurtenissen waarbij de invloed van het type bewerking op de verspreiding (deels) vervalst. Bij de meest ernstige gebeurtenis, het kapot springen van onderdelen, resteert de invloed van de fysisch-chemische eigenschappen van de gehanteerde stof. De parameter f , die de invloed van de fysisch-chemische eigenschappen in rekening brengt, wordt berekend door de logaritme te nemen van de transferfractie voor deze gebeurtenis, bij afwezigheid van specifieke afzuigvoorzieningen, en deze waarde af te ronden op een geheel getal (zie Tabel 18).

Tabel 18 Transferfractie bij breuk van onderdelen en afwezigheid van specifieke afzuigvoorziening

<i>bewerking</i>	T_f	f
vervluchten van een vluchtige vloeistof	1,4E-01	1
vervluchten van een waterige vloeistof, gel	9,1E-02	1
vervluchten van een minder vluchtige vloeistof	1,5E-02	2
vervluchten van een vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	1,7E-06	6
stoffige bewerking met een zeer stoffige vaste stof	1,6E-03	3
stoffige bewerking met een stoffige vaste stof	1,6E-04	4
spattende bewerking met een vluchtige vloeistof	9,1E-02	1
spattende bewerking met een waterige vloeistof	1,5E-02	2
spattende bewerking met een minder vluchtige vloeistof	1,6E-03	3
spattende bewerking met vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	1,7E-06	6
rustige bewerking met een vluchtige vloeistof	9,1E-02	1
rustige bewerking met een waterige vloeistof, gel	1,5E-02	2
rustige bewerking met een minder vluchtige vloeistof	1,6E-03	3
rustige bewerking met een vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	1,7E-06	6
rustige bewerking met een vaste stof in een moeilijk verspreidbare vorm	1,7E-06	6
bewerking met een gesloten systeem met een gas	1,4E-01	0
bewerking met een gesloten systeem met een vluchtige vloeistof	9,1E-02	1
bewerking met een gesloten systeem met een waterige vloeistof, gel	1,5E-02	2
bewerking met een gesloten systeem met een minder vluchtige vloeistof	1,6E-03	3
bewerking met een gesloten systeem met een zeer stoffige vaste stof	1,6E-03	3
bewerking met een gesloten systeem met een stoffige vaste stof	1,6E-04	4
bewerking met een gesloten systeem: vloeistof met een niet vluchtig nuclide	1,7E-06	6

Nadere beschouwing van Tabel 18 leert dat de waarden voor de parameter f zijn te groeperen per fysisch-chemische eigenschap van de gehanteerde stof. Uitzondering vormen de categorieën waterige vloeistoffen en minder vluchtige vloeistoffen: de waarde van f is voor deze categorieën bij vervluchten lager dan bij de andere typen bewerkingen. Een andere uitzondering betreft de bewerking met een gesloten systeem met een gas: de waarde van f voor een gas wordt gelijk aan 0 gekozen, in plaats van 1, wat leidt tot een overschatting van de transferfractie. De reden hiervoor wordt hieronder aangegeven. Tabel 11 geeft het resultaat van de groepering weer.

Uit combinatie van de resultaten in Tabel 15 en Tabel 18 is de parameter b af te leiden, die de invloed van het type bewerking in rekening brengt. Dit is weergegeven in Tabel 19.

Tabel 19 Waarden voor de parameter b

<i>bewerking</i>	<i>b</i>
vervluchten van een vluchtige vloeistof	0
vervluchten van een waterige vloeistof, gel	0
vervluchten van een minder vluchtige vloeistof	0
vervluchten van een vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	0
stoffige bewerking met een zeer stoffige vaste stof	0
stoffige bewerking met een stoffige vaste stof	0
spattende bewerking met een vluchtige vloeistof	2
spattende bewerking met een waterige vloeistof	2
spattende bewerking met een minder vluchtige vloeistof	2
spattende bewerking met vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	2
rustige bewerking met een vluchtige vloeistof	3
rustige bewerking met een waterige vloeistof, gel	3
rustige bewerking met een minder vluchtige vloeistof	3
rustige bewerking met een vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	3
rustige bewerking met een vaste stof in een moeilijk verspreidbare vorm	3
bewerking met een gesloten systeem met een gas	4
bewerking met een gesloten systeem met een vluchtige vloeistof	4
bewerking met een gesloten systeem met een waterige vloeistof, gel	4
bewerking met een gesloten systeem met een minder vluchtige vloeistof	4
bewerking met een gesloten systeem met een zeer stoffige vaste stof	4
bewerking met een gesloten systeem met een stoffige vaste stof	4
bewerking met een gesloten systeem: vloeistof met een niet vluchtig nuclide	4

Ook deze waarden zijn verder te groeperen, maar nu per type bewerking. Het beschermende effect van de bewerking met een gesloten systeem is in het geval van een gas ongeveer een factor 10 kleiner dan voor de overige bewerkingen met gesloten systemen. Door de waarde van f voor een bewerking met een gesloten systeem met een gas gelijk te kiezen aan 0 (zie hierboven), kan de waarde voor de parameter b voor deze bewerking gelijk gekozen worden aan die voor de overige bewerkingen met gesloten systemen. Met andere woorden: de overschatting van de transferfractie door de te hoge waarde van f wordt gecompenseerd door een onderschatting van de transferfractie door een te lage waarde van b . Deze constructie is mogelijk, omdat bewerkingen met gassen alleen voorkomen als bewerkingen met een gesloten systeem. Tabel 20 geeft het resultaat van de groepering weer.

Tabel 20 Gegroepeerde waarden voor de parameter b

<i>type bewerking</i>	<i>b</i>
vervluchten	0
stoffige bewerking	0
spattende bewerking	2
rustige bewerking	3
bewerking met een gesloten systeem	4

6.2 Falen van de specifieke afzuigvoorziening

Bij het falen van de specifieke afzuigvoorziening (uitval) wordt aangenomen dat het beschermende effect volledig wegvalt. Dit komt tot per definitie neer op het stellen van de parameter v op de waarde 0 (zie paragraaf 5.1).

6.3 Maximaal te hanteren hoeveelheid vanwege incidentele blootstelling

De maximaal te hanteren hoeveelheid radioactieve stoffen met het oog op beperking van de chronische blootstelling wordt berekend door het belastingsquotiënt Q gelijk te stellen aan 1. Net als bij de chronische blootstelling wordt het product $A_j e_{inh}$ uitgedrukt in de eenheid Re_{inh} . Voor de berekening is naast de waarden voor de parameters f , b en v , een waarde voor de dosisbeperking per onbedoelde gebeurtenis nodig. Deze dosisbeperking per onbedoelde gebeurtenis wordt gekozen conform hetgeen is gesteld in paragraaf 3.

De maximaal te hanteren hoeveelheid radioactieve stoffen voor een gegeven situatie, bijvoorbeeld een B-laboratorium, wordt nu bepaald door twee voorwaarden. De eerste voorwaarde wordt gesteld met het oog op de onbedoelde gebeurtenissen waarbij de beschermende invloed van de bewerking wegvalt:

$$A_j e_{inh} < E_N 10^{f+v}$$

Tabel 22 geeft een overzicht van de maximaal hanteerbare hoeveelheden in een B-laboratorium op grond van deze onbedoelde gebeurtenissen weer.

De tweede voorwaarde wordt gesteld met het oog op de onbedoelde gebeurtenissen waarbij de beschermende invloed van de specifieke afzuigvoorziening wegvalt:

$$A_j e_{inh} < E_N 10^{f+b}$$

Tabel 23 geeft een overzicht van de maximaal hanteerbare hoeveelheden in een B-laboratorium op grond van deze onbedoelde gebeurtenissen weer.

De kleinste van de genoemde hoeveelheden is uiteindelijk bepalend voor de op te leggen beperking. Dat komt neer op het bepalen welk van de twee parameters b of v bij een gegeven combinatie de kleinste is. Om het gebruik van het model te vereenvoudigen wordt de minimale waarde van de twee parameters b of v bij een gegeven combinatie van type bewerking en specifieke afzuigvoorziening aangeduid met de parameter g . Ofwel:

$$g \equiv \min(b, v)$$

Tabel 12 geeft de waarde van de parameter g aan. Tabel 24 geeft een overzicht van de maximaal hanteerbare hoeveelheden in een B-laboratorium op grond het mogelijk optreden van een van de genoemde onbedoelde gebeurtenissen weer. In alle andere omgevingen zijn de maximaal te hanteren hoeveelheden een factor 10 lager dan de waarden in deze tabel, omdat daar de dosisbeperking bij dit soort incidentele blootstellingen een factor 10 lager is gekozen.

7 Vergelijkingen resultaten modelberekeningen

7.1 Chronische blootstelling en incidentele blootstelling

Vergelijking van de beperking van te hanteren activiteit op grond van de gekozen dosisbeperkingen voor chronische blootstelling en van incidentele blootstelling (Tabel 21 en Tabel 24) blijkt dat de incidentele blootstelling voor vrijwel alle gevallen de beperking bepaald. Deze conclusie komt overeen met de conclusie die reeds in het HARAS-rapport werd getrokken. De conclusie is geldig onder de voorwaarden gesteld aan de specifieke afzuigvoorziening (Tabel 9) bij de gekozen dosisbeperkingen en bij de aangenomen maximum aantal bewerkingen per werknemer per jaar. De enige uitzonderingen op deze regel betreffen het vervluchtigen en spattende bewerkingen van vloeistoffen met niet vluchtige nucliden buiten een zuurkast in een B- of C-laboratorium, bijvoorbeeld het drogen van gels. In theorie zouden deze bewerkingen kunnen leiden tot een relevante chronische blootstelling, als een werknemer deze bewerkingen onder de genoemde omstandigheden zeer vaak uitvoert met de maximaal toegestane hoeveelheden. In de praktijk zal dit echter niet voorkomen, als de beheersmaatregelen

volgens de leidraad juist worden toegepast. Om deze reden is er, uit oogpunt van eenvoud van de methode, niet voor gekozen een extra beperking toe te passen ter beperking van de chronische blootstelling.

7.2 Effect afronding transferfracties

Het opsplitsen van de transferfracties in afzonderlijke delen en het afronden op machten van 10 kan afrondfouten veroorzaken. De afrondfouten zijn onderzocht door de niet-afgeronde transferfracties te vergelijken met de afgeronde transferfracties, die zijn gebruikt voor de berekening van maximaal te hanteren hoeveelheden ter beperking van dosis bij incidentele blootstellingen (zie Tabel 24). Tabel 25 geeft het resultaat weer. Het blijkt dat de maximaal te hanteren hoeveelheid radioactieve stoffen berekend met de f en g parameter, een factor 3 kan liggen boven het resultaat berekend met de transferfractie. Dat betekent dat de blootstelling door inhalatie bij een onbedoelde gebeurtenis ook een factor 3 boven de gestelde dosisbeperking van 0,1 mSv kan liggen. Dit gevolg van de simplificaties en aannamen van het model wordt als acceptabel beschouwd, gezien het uitgangspunt dat het aantal onbedoelde gebeurtenissen per medewerker per jaar zeer beperkt zal zijn.

7.3 Vergelijking met de Bijlage Radionuclidenlaboratorium

De maximaal te hanteren hoeveelheden radioactieve stoffen volgens de voorgestelde leidraad (zie Tabel 4 tot en met Tabel 7) zijn vergeleken met de maximaal te hanteren hoeveelheden berekend met de formule uit de Bijlage Radionuclidenlaboratorium [1], $A e_{inh} = 0,02 \cdot 10^{(p+q+r)}$.

Voor alle combinaties van typen bewerkingen en fysisch-chemische vorm is de verspreidingsparameter p geschat. Tabel 8 geeft de schattingen van p weer. In een aantal gevallen is deze schatting problematisch. Bijvoorbeeld aan de verspreidingsparameter voor het vervluchtigen van een vloeistof waarin een niet-vluchtig nuclide is opgelost zou op grond van het type bewerking (vervluchtigen) de waarde -4 kunnen worden toegekend. Echter, op grond van het niet-vluchtig zijn wordt aan deze verspreidingsparameter de waarde -2 toegekend. Te denken valt bijvoorbeeld aan het drogen van films.

Tabel 26 tot en met Tabel 29 geven de verhouding weer van de maximaal te hanteren hoeveelheden berekend volgens dit rapport en die volgens de Bijlage Radionuclidenlaboratoria. Afhankelijk van het type bewerking, de fysisch-chemische vorm en de specifieke afzuigvoorziening, is de maximaal te hanteren hoeveelheid volgens dit rapport maximaal een factor 5000 groter, tot maximaal factor 20 kleiner dan die volgens de Bijlage Radionuclidenlaboratorium.

De berekening in dit rapport maakt een groter verschil tussen niet-vluchtige en vluchtige nucliden dan de Bijlage Radionuclidenlaboratorium. Opvallend is dat de blootstelling bij bewerkingen met minder- of niet-vluchtige nucliden in dit rapport veel lager wordt ingeschat. Verder wordt de beschermende werking van de gekeurde zuurkast een factor 10 hoger gewaardeerd en is er een verschil van een factor 100 tussen de beschermende werking van de zuurkast en de afzuigpijp gekomen. De verschillen zijn minder prominent aanwezig als de maximaal te hanteren hoeveelheid wordt begrenst op grond van het type ruimte.

Omdat bij de berekening in dit rapport de normering is gebaseerd op incidentele blootstellingen, worden alleen de situaties waarbij zowel het type bewerking als de specifieke afzuigvoorziening beide gunstig zijn, relatief hoog gewaardeerd (tenminste, als het type ruimte dat toelaat). In de gevallen waarbij slechts één van beide genoemde factoren gunstig is, mag veel minder gebruikt worden.

Tenslotte kan worden opgemerkt dat het verplaatsen van een D-laboratorium naar een C-laboratorium van sommige bewerkingen, zoals bewerkingen met gesloten systemen met waterige vloeistoffen onder een afzuigpijp, zonder de specifieke afzuigvoorzieningen aan te passen, volgens dit rapport geen extra ruimte oplevert. Volgens de Bijlage Radionuclidenlaboratorium was dat wel het geval. Het voordeel van de nieuwe aanpak is dat tekortkomingen van de maatregelen nabij de bron niet meer kunnen worden gecompenseerd door aanpassingen aan de ruimte, die op de betreffende blootstelling nauwelijks effect hebben.

Tabel 21 Maximaal te hanteren hoeveelheden radioactieve stoffen $A_{\max} e_{inh}$ (Re) ter beperking van de chronische blootstelling

<i>type bewerking</i>	<i>fysisch-chemische vorm</i>	<i>specifieke afzuig-voorziening</i>	<i>A_{max} e_{inh} (Re)</i>
vervluchtigen	vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	1E -01
	waterige vloeistof, gel	gekeurde zuurkast	1E -01
	minder vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	1E+00
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1E+00
		afzuigpijp	1E+01
		zuurkast	1E+03
gekeurde zuurkast		1E+04	
stoffige bewerking	zeer stoffige vaste stof	gekeurde zuurkast	1E+01
	stoffige vaste stof	gekeurde zuurkast	1E+02
spattende bewerking	vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	1E+01
	waterige vloeistof, gel	gekeurde zuurkast	1E+02
	minder vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	1E+03
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1E+02
		afzuigpijp	1E+03
		zuurkast	1E+05
gekeurde zuurkast		1E+06	
rustige bewerking	vluchtige vloeistof	zuurkast	1E+01
		gekeurde zuurkast	1E+02
	waterige vloeistof, gel	geen	1E -01
		afzuigpijp	1E+00
		zuurkast	1E+02
		gekeurde zuurkast	1E+03
	minder vluchtige vloeistof	geen	1E+00
		afzuigpijp	1E+01
		zuurkast	1E+03
		gekeurde zuurkast	1E+04
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1E+03
		afzuigpijp	1E+04
		zuurkast	1E+06
		gekeurde zuurkast	1E+07
	vaste stof in moeilijk verspreidbare toestand	geen	1E+03
		afzuigpijp	1E+04
		zuurkast	1E+06
		gekeurde zuurkast	1E+07
bewerking met een gesloten systeem	gas	gekeurde zuurkast	1E+02
	vluchtige vloeistof	zuurkast	1E+02
		gekeurde zuurkast	1E+03
	waterige vloeistof, gel	geen	1E+00
		afzuigpijp	1E+01
		zuurkast	1E+03
		gekeurde zuurkast	1E+04
	minder vluchtige vloeistof	geen	1E+01
		afzuigpijp	1E+02
		zuurkast	1E+04
		gekeurde zuurkast	1E+05
	zeer stoffige vaste stof	zuurkast	1E+04
		gekeurde zuurkast	1E+05
	stoffige vaste stof	zuurkast	1E+05
gekeurde zuurkast		1E+06	
vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1E+04	
	afzuigpijp	1E+05	
	zuurkast	1E+07	
	gekeurde zuurkast	1E+08	

Tabel 22 Maximaal te hanteren hoeveelheden radioactieve stoffen $A_{\max} e_{\text{inh}}$ (Re) in een B-laboratorium ter beperking van de dosis door incidentele blootstellingen bij een afwijkend verloop van de bewerking

<i>type bewerking</i>	<i>fysisch-chemische vorm</i>	<i>specifieke afzuig-voorziening</i>	$A_{\max} e_{\text{inh}}$ (Re)
vervluchtigen	vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	1E+02
	waterige vloeistof, gel	gekeurde zuurkast	1E+02
	minder vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	1E+03
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1E+03
		afzuigpijp	1E+04
		zuurkast	1E+06
		gekeurde zuurkast	1E+07
stoffige bewerking	zeer stoffige vaste stof	gekeurde zuurkast	1E+04
	stoffige vaste stof	gekeurde zuurkast	1E+05
spattende bewerking	vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	1E+02
	waterige vloeistof, gel	gekeurde zuurkast	1E+03
	minder vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	1E+04
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1E+03
		afzuigpijp	1E+04
		zuurkast	1E+06
		gekeurde zuurkast	1E+07
rustige bewerking	vluchtige vloeistof	zuurkast	1E+01
		gekeurde zuurkast	1E+02
	waterige vloeistof, gel	geen	1E -01
		afzuigpijp	1E+00
		zuurkast	1E+02
		gekeurde zuurkast	1E+03
	minder vluchtige vloeistof	geen	1E+00
		afzuigpijp	1E+01
		zuurkast	1E+03
		gekeurde zuurkast	1E+04
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1E+03
		afzuigpijp	1E+04
		zuurkast	1E+06
		gekeurde zuurkast	1E+07
	vaste stof in moeilijk verspreidbare toestand	geen	1E+03
		afzuigpijp	1E+04
		zuurkast	1E+06
		gekeurde zuurkast	1E+07
bewerking met een gesloten systeem	gas	gekeurde zuurkast	1E+01
	vluchtige vloeistof	zuurkast	1E+01
		gekeurde zuurkast	1E+02
	waterige vloeistof, gel	geen	1E -01
		afzuigpijp	1E+00
		zuurkast	1E+02
		gekeurde zuurkast	1E+03
	minder vluchtige vloeistof	geen	1E+00
		afzuigpijp	1E+01
		zuurkast	1E+03
		gekeurde zuurkast	1E+04
	zeer stoffige vaste stof	zuurkast	1E+03
		gekeurde zuurkast	1E+04
	stoffige vaste stof	zuurkast	1E+04
		gekeurde zuurkast	1E+05
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1E+03
		afzuigpijp	1E+04
		zuurkast	1E+06
		gekeurde zuurkast	1E+07

Tabel 23 Maximaal te hanteren hoeveelheden radioactieve stoffen $A_{\max} e_{inh}$ (Re) in een B-laboratorium ter beperking van de dosis door incidentele blootstellingen bij uitval van de ventilatie

type bewerking	fysisch-chemische vorm	specifieke afzuig- voorziening	$A_{max} e_{inh}$ (Re)
vervluchtigen	vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	1E -02
	waterige vloeistof, gel	gekeurde zuurkast	1E -02
	minder vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	1E -01
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1E+03
		afzuigpijp	1E+03
zuurkast		1E+03	
gekeurde zuurkast		1E+03	
stoffige bewerking	zeer stoffige vaste stof	gekeurde zuurkast	1E+00
	stoffige vaste stof	gekeurde zuurkast	1E+01
spattende bewerking	vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	1E+00
	waterige vloeistof, gel	gekeurde zuurkast	1E+01
	minder vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	1E+02
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1E+05
		afzuigpijp	1E+05
		zuurkast	1E+05
gekeurde zuurkast		1E+05	
rustige bewerking	vluchtige vloeistof	zuurkast	1E+01
		gekeurde zuurkast	1E+01
	waterige vloeistof, gel	geen	1E+02
		afzuigpijp	1E+02
		zuurkast	1E+02
		gekeurde zuurkast	1E+02
	minder vluchtige vloeistof	geen	1E+03
		afzuigpijp	1E+03
		zuurkast	1E+03
		gekeurde zuurkast	1E+03
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1E+06
		afzuigpijp	1E+06
		zuurkast	1E+06
		gekeurde zuurkast	1E+06
	vaste stof in moeilijk verspreidbare toestand	geen	1E+06
		afzuigpijp	1E+06
		zuurkast	1E+06
		gekeurde zuurkast	1E+06
	bewerking met een gesloten systeem	gas	gekeurde zuurkast
vluchtige vloeistof		zuurkast	1E+02
		gekeurde zuurkast	1E+02
waterige vloeistof, gel		geen	1E+03
		afzuigpijp	1E+03
		zuurkast	1E+03
		gekeurde zuurkast	1E+03
minder vluchtige vloeistof		geen	1E+04
		afzuigpijp	1E+04
		zuurkast	1E+04
		gekeurde zuurkast	1E+04
zeer stoffige vaste stof		zuurkast	1E+04
		gekeurde zuurkast	1E+04
stoffige vaste stof		zuurkast	1E+05
		gekeurde zuurkast	1E+05
vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost		geen	1E+07
	afzuigpijp	1E+07	
	zuurkast	1E+07	
	gekeurde zuurkast	1E+07	

Tabel 24 Maximaal te hanteren hoeveelheden radioactieve stoffen $A_{\max} e_{inh}$ (Re) in een B-laboratorium ter beperking van de dosis door incidentele blootstellingen bij een afwijkend verloop van de bewerking óf bij uitval van de ventilatie

type bewerking	fysisch-chemische vorm	specifieke afzuig-voorziening	$A_{max} e_{inh}$ (Re)
vervluchtigen	vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	1E -02
	waterige vloeistof, gel	gekeurde zuurkast	1E -02
	minder vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	1E -01
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1E+03
		afzuigpijp	1E+03
		zuurkast	1E+03
gekeurde zuurkast		1E+03	
stoffige bewerking	zeer stoffige vaste stof	gekeurde zuurkast	1E+00
	stoffige vaste stof	gekeurde zuurkast	1E+01
spattende bewerking	vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	1E+00
	waterige vloeistof, gel	gekeurde zuurkast	1E+01
	minder vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	1E+02
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1E+03
		afzuigpijp	1E+04
		zuurkast	1E+05
gekeurde zuurkast		1E+05	
rustige bewerking	vluchtige vloeistof	zuurkast	1E+01
		gekeurde zuurkast	1E+01
	waterige vloeistof, gel	geen	1E -01
		afzuigpijp	1E+00
		zuurkast	1E+02
		gekeurde zuurkast	1E+02
	minder vluchtige vloeistof	geen	1E+00
		afzuigpijp	1E+01
		zuurkast	1E+03
		gekeurde zuurkast	1E+03
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1E+03
		afzuigpijp	1E+04
		zuurkast	1E+06
		gekeurde zuurkast	1E+06
	vaste stof in moeilijk verspreidbare toestand	geen	1E+03
afzuigpijp		1E+04	
zuurkast		1E+06	
gekeurde zuurkast		1E+06	
bewerking met een gesloten systeem	gas	gekeurde zuurkast	1E+01
	vluchtige vloeistof	zuurkast	1E+01
		gekeurde zuurkast	1E+02
	waterige vloeistof, gel	geen	1E -01
		afzuigpijp	1E+00
		zuurkast	1E+02
		gekeurde zuurkast	1E+03
	minder vluchtige vloeistof	geen	1E+00
		afzuigpijp	1E+01
		zuurkast	1E+03
		gekeurde zuurkast	1E+04
	zeer stoffige vaste stof	zuurkast	1E+03
		gekeurde zuurkast	1E+04
	stoffige vaste stof	zuurkast	1E+04
		gekeurde zuurkast	1E+05
vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1E+03	
	afzuigpijp	1E+04	
	zuurkast	1E+06	
	gekeurde zuurkast	1E+07	

Tabel 25 Vergelijking van niet-afgeronde en afgeronde transferfracties voor de ongunstigste incidentele blootstelling (verloop bewerking of uitval ventilatie)

<i>bewerking</i>	<i>fysisch-chemische vorm</i>	<i>specifieke afzuigvoorziening</i>	<i>T_f niet afgerond</i>	<i>T_f afgerond</i>	<i>Ratio</i>
vervluchten	vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	1,45E-01	1E-01	0,7
	waterige vloeistof, gel	gekeurde zuurkast	9,12E-02	1E-01	1,1
	minder vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	1,54E-02	1E-02	0,6
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1,65E-06	1E-06	0,6
		afzuigpijp	1,65E-06	1E-06	0,6
		zuurkast	1,65E-06	1E-06	0,6
		gekeurde zuurkast	1,65E-06	1E-06	0,6
stoffige bewerking	zeer stoffige vaste stof	gekeurde zuurkast	1,64E-03	1E-03	0,6
	stoffige vaste stof	gekeurde zuurkast	1,65E-04	1E-04	0,6
spattende bewerking	vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	9,12E-04	1E-03	1,1
	waterige vloeistof, gel	gekeurde zuurkast	1,54E-04	1E-04	0,6
	minder vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	1,64E-05	1E-05	0,6
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1,65E-06	1E-06	0,6
		afzuigpijp	7,21E-08	1E-07	1,4
		zuurkast	1,65E-08	1E-08	0,6
		gekeurde zuurkast	1,65E-08	1E-08	0,6
rustige bewerking	vluchtige vloeistof	zuurkast	1,80E-04	1E-04	0,6
		gekeurde zuurkast	9,12E-05	1E-04	1,1
	waterige vloeistof, gel	geen	1,54E-02	1E-02	0,6
		afzuigpijp	6,75E-04	1E-03	1,5
		zuurkast	3,03E-05	1E-05	0,3
		gekeurde zuurkast	1,54E-05	1E-05	0,6
	minder vluchtige vloeistof	geen	1,64E-03	1E-03	0,6
		afzuigpijp	7,16E-05	1E-04	1,4
		zuurkast	3,22E-06	1E-06	0,3
		gekeurde zuurkast	1,64E-06	1E-06	0,6
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1,65E-06	1E-06	0,6
		afzuigpijp	7,21E-08	1E-07	1,4
		zuurkast	3,24E-09	1E-09	0,3
		gekeurde zuurkast	1,65E-09	1E-09	0,6
	vaste stof in moeilijk verspreidbare toestand	geen	1,65E-06	1E-06	0,6
		afzuigpijp	7,21E-08	1E-07	1,4
		zuurkast	3,24E-09	1E-09	0,3
		gekeurde zuurkast	1,65E-09	1E-09	0,6
bewerking met een gesloten systeem	gas	gekeurde zuurkast	1,65E-04	1E-04	0,6
	vluchtige vloeistof	zuurkast	1,80E-04	1E-04	0,6
		gekeurde zuurkast	9,12E-06	1E-05	1,1
	waterige vloeistof, gel	geen	1,54E-02	1E-02	0,6
		afzuigpijp	6,75E-04	1E-03	1,5
		zuurkast	3,03E-05	1E-05	0,3
		gekeurde zuurkast	1,54E-06	1E-06	0,6
	minder vluchtige vloeistof	geen	1,64E-03	1E-03	0,6
		afzuigpijp	7,16E-05	1E-04	1,4
		zuurkast	3,22E-06	1E-06	0,3
		gekeurde zuurkast	1,64E-07	1E-07	0,6
	zeer stoffige vaste stof	zuurkast	3,22E-06	1E-06	0,3
		gekeurde zuurkast	1,64E-07	1E-07	0,6
	stoffige vaste stof	zuurkast	3,24E-07	1E-07	0,3
		gekeurde zuurkast	1,65E-08	1E-08	0,6
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	1,65E-06	1E-06	0,6
		afzuigpijp	7,21E-08	1E-07	1,4
		zuurkast	3,24E-09	1E-09	0,3
		gekeurde zuurkast	1,65E-10	1E-10	0,6

Tabel 26 Vergelijking maximaal te hanteren hoeveelheden in een B-laboratorium volgens de Bijlage radionuclidenlaboratorium (huidige X_{max}) en volgens de voorgestelde leidraad (X_{max} deze leidraad)

<i>bewerking</i>	<i>fysisch-chemische vorm</i>	<i>specifieke afzuig- voorziening</i>	<i>huidige X_{max} (Re)</i>	<i>X_{max} deze leidraad (Re)</i>	<i>ratio</i>	
vervluchten	vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	0,2	1E -02	0,05	
	waterige vloeistof, gel	gekeurde zuurkast	0,2	1E -02	0,05	
	minder vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	0,2	1E -01	0,5	
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	0,2	1E+03	5000	
		afzuigpijp	2	1E+03	500	
		zuurkast	2	1E+03	500	
		gekeurde zuurkast	20	1E+03	50	
stoffige bewerking	zeer stoffige vaste stof	gekeurde zuurkast	0,2	1E+00	5	
	stoffige vaste stof	gekeurde zuurkast	0,2	1E+01	50	
spattende bewerking	vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	0,2	1E+00	5	
	waterige vloeistof, gel	gekeurde zuurkast	0,2	1E+01	50	
	minder vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	0,2	1E+02	500	
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	0,2	1E+03	5000	
		afzuigpijp	2	1E+03	500	
		zuurkast	2	1E+03	500	
		gekeurde zuurkast	20	1E+03	50	
rustige bewerking	vluchtige vloeistof	zuurkast	0,2	1E+01	50	
		gekeurde zuurkast	2	1E+01	5	
	waterige vloeistof, gel	geen	0,2	1E -01	0,5	
		afzuigpijp	2	1E+00	0,5	
		zuurkast	2	1E+02	50	
		gekeurde zuurkast	20	1E+02	5	
	minder vluchtige vloeistof	geen	0,2	1E+00	5	
		afzuigpijp	2	1E+01	5	
		zuurkast	2	1E+03	500	
		gekeurde zuurkast	20	1E+03	50	
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	2	1E+03	500	
		afzuigpijp	20	1E+03	50	
		zuurkast	20	1E+03	50	
		gekeurde zuurkast	200	1E+03	5	
	vaste stof in moeilijk verspreidbare toestand	geen	2	1E+03	500	
		afzuigpijp	20	1E+03	50	
		zuurkast	20	1E+03	50	
		gekeurde zuurkast	200	1E+03	5	
	bewerking met een gesloten systeem	gas	gekeurde zuurkast	0,2	1E+01	50
		vluchtige vloeistof	zuurkast	0,2	1E+01	50
gekeurde zuurkast			2	1E+02	50	
geen			2	1E -01	0,05	
waterige vloeistof, gel		afzuigpijp	20	1E+00	0,05	
		zuurkast	20	1E+02	5	
		gekeurde zuurkast	200	1E+03	5	
		minder vluchtige vloeistof	geen	2	1E+00	0,5
afzuigpijp			20	1E+01	0,5	
zuurkast			20	1E+03	50	
gekeurde zuurkast			200	1E+03	5	
zeer stoffige vaste stof		zuurkast	0,2	1E+03	5000	
		gekeurde zuurkast	2	1E+03	500	
stoffige vaste stof		zuurkast	0,2	1E+03	5000	
		gekeurde zuurkast	2	1E+03	500	
vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost		geen	2	1E+03	500	
		afzuigpijp	20	1E+03	50	
		zuurkast	20	1E+03	50	
		gekeurde zuurkast	200	1E+03	5	

Tabel 27 Vergelijking maximaal te hanteren hoeveelheden in een C-laboratorium volgens de Bijlage radionuclidenlaboratorium (huidige X_{max}) en volgens de voorgestelde leidraad (X_{max} deze leidraad)

<i>bewerking</i>	<i>fysisch-chemische vorm</i>	<i>specifieke afzuig- voorziening</i>	<i>huidige X_{max} (Re)</i>	<i>X_{max} deze leidraad (Re)</i>	<i>ratio</i>	
vervluchten	vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	0,02	1E -03	0,05	
	waterige vloeistof, gel	gekeurde zuurkast	0,02	1E -03	0,05	
	minder vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	0,02	1E -02	0,5	
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	0,02	1E+00	50	
		afzuigpijp	0,2	1E+01	50	
		zuurkast	0,2	1E+01	50	
		gekeurde zuurkast	2	1E+01	5	
stoffige bewerking	zeer stoffige vaste stof	gekeurde zuurkast	0,02	1E -01	5	
	stoffige vaste stof	gekeurde zuurkast	0,02	1E+00	50	
spattende bewerking	vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	0,02	1E -01	5	
	waterige vloeistof, gel	gekeurde zuurkast	0,02	1E+00	50	
	minder vluchtige vloeistof	gekeurde zuurkast	0,02	1E+01	500	
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	0,02	1E+01	500	
		afzuigpijp	0,2	1E+01	50	
		zuurkast	0,2	1E+01	50	
		gekeurde zuurkast	2	1E+01	5	
rustige bewerking	vluchtige vloeistof	zuurkast	0,02	1E+00	50	
		gekeurde zuurkast	0,2	1E+00	5	
	waterige vloeistof, gel	geen	0,02	1E -02	0,5	
		afzuigpijp	0,2	1E -01	0,5	
		zuurkast	0,2	1E+01	50	
		gekeurde zuurkast	2	1E+01	5	
	minder vluchtige vloeistof	geen	0,02	1E -01	5	
		afzuigpijp	0,2	1E+00	5	
		zuurkast	0,2	1E+01	50	
		gekeurde zuurkast	2	1E+01	5	
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	0,2	1E+01	50	
		afzuigpijp	2	1E+01	5	
		zuurkast	2	1E+01	5	
		gekeurde zuurkast	20	1E+01	0,5	
	vaste stof in moeilijk verspreidbare toestand	geen	0,2	1E+01	50	
		afzuigpijp	2	1E+01	5	
		zuurkast	2	1E+01	5	
		gekeurde zuurkast	20	1E+01	0,5	
	bewerking met een gesloten systeem	gas	gekeurde zuurkast	0,02	1E+00	50
		vluchtige vloeistof	zuurkast	0,02	1E+00	50
gekeurde zuurkast			0,2	1E+01	50	
waterige vloeistof, gel			geen	0,2	1E -02	0,05
		afzuigpijp	2	1E -01	0,05	
		zuurkast	2	1E+01	5	
		gekeurde zuurkast	20	1E+01	0,5	
		minder vluchtige vloeistof	geen	0,2	1E -01	0,5
afzuigpijp			2	1E+00	0,5	
zuurkast			2	1E+01	5	
gekeurde zuurkast			20	1E+01	0,5	
zeer stoffige vaste stof		zuurkast	0,02	1E+01	500	
		gekeurde zuurkast	0,2	1E+01	50	
stoffige vaste stof		zuurkast	0,02	1E+01	500	
		gekeurde zuurkast	0,2	1E+01	50	
vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost		geen	0,2	1E+01	50	
		afzuigpijp	2	1E+01	5	
		zuurkast	2	1E+01	5	
		gekeurde zuurkast	20	1E+01	0,5	

Tabel 28 Vergelijking maximaal te hanteren hoeveelheden in een D-laboratorium volgens de Bijlage radionuclidenlaboratorium (huidige X_{max}) en volgens de voorgestelde leidraad (X_{max} deze leidraad)

<i>bewerking</i>	<i>fysisch-chemische vorm</i>	<i>specifieke afzuig-voorziening</i>	<i>huidige X_{max} (Re)</i>	<i>X_{max} deze leidraad (Re)</i>	<i>ratio</i>
vervluchten	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	zuurkast	0,02	1E-01	5
		afzuigpijp	0,02	1E-01	5
		geen	0,002	1E-01	50
spattende bewerking	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	0,002	1E-01	50
		afzuigpijp	0,02	1E-01	5
		zuurkast	0,02	1E-01	5
rustige bewerking	waterige vloeistof, gel	geen	0,002	1E-02	5
		afzuigpijp	0,02	1E-01	5
		zuurkast	0,02	1E-01	5
	minder vluchtige vloeistof	geen	0,002	1E-01	50
		afzuigpijp	0,02	1E-01	5
		zuurkast	0,02	1E-01	5
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	0,02	1E-01	5
		afzuigpijp	0,2	1E-01	0,5
		zuurkast	0,2	1E-01	0,5
	vaste stof in moeilijk verspreidbare toestand	geen	0,02	1E-01	5
		afzuigpijp	0,2	1E-01	0,5
		zuurkast	0,2	1E-01	0,5
bewerking met een gesloten systeem	waterige vloeistof, gel	geen	0,02	1E-02	0,5
		afzuigpijp	0,2	1E-01	0,5
		zuurkast	0,2	1E-01	0,5
	minder vluchtige vloeistof	geen	0,02	1E-01	5
		afzuigpijp	0,2	1E-01	0,5
		zuurkast	0,2	1E-01	0,5
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	0,02	1E-01	5
		afzuigpijp	0,2	1E-01	0,5
		zuurkast	0,2	1E-01	0,5

Tabel 29 Vergelijking maximaal te hanteren hoeveelheden in een nevenruimte volgens de Bijlage radionuclidenlaboratorium (huidige X_{max}) en volgens de voorgestelde leidraad (X_{max} deze leidraad)

<i>bewerking</i>	<i>fysisch-chemische vorm</i>	<i>specifieke afzuig-voorziening</i>	<i>huidige X_{max} (Re)</i>	<i>X_{max} deze leidraad (Re)</i>	<i>ratio</i>
rustige bewerking	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	0,02	1E-02	0,5
	vaste stof in moeilijk verspreidbare toestand	geen	0,02	1E-02	0,5
bewerking met een gesloten systeem	waterige vloeistof, gel	geen	0,02	1E-02	0,5
	minder vluchtige vloeistof	geen	0,02	1E-02	0,5
	vloeistof waarin een niet vluchtig nuclide is opgelost	geen	0,02	1E-02	0,5

REFERENTIES

1. Ministerie van SZW, *Bijlage Radionuclidenlaboratoria*, versie 2002
 2. Bos A J J , Draaisma F S , Okx W J C , Rasmussen C E, *Inleiding tot de stralingshygiëne*, Elsevier gezondheidszorg, Maarssen (2000)
 3. Klaver T , Huyskens Chr J, Franken Y, *HARAS, Beschrijving en resultaten van een analysemethode voor risico-evaluatie van het werken met open radioactieve stoffen*, SBD-TU/e rapport nr. 14092, Technische Universiteit Eindhoven (1997)
 4. Verhoef N B, Hienen J F A van, *Maatgevende scenario's voor ongevallen met categorie B-objecten*, 910871/03.53121/C, NRG Petten (2004)
 5. Ministeries van VROM en SZW, NVNG, *Werken met therapeutische doses radionucliden (aanbevelingen)*, VROM 5049 / 02-05 (2004)
 6. NVS-publicatie nr. 32, *Vervoer van radioactieve stoffen over de weg in Nederland en België*, Nederlandse Vereniging voor Stralingshygiëne, Utrecht (2002)
 7. Zwaard A W, *Laboratoria*, Arbo-Informatieblad AI-18, Sdu uitgevers, Den Haag (1998)
 8. Grimbergen T W M, *Ioniserende straling*, Arbo-Informatieblad AI-27, Sdu uitgevers, Den Haag (2003)
 9. Keverling Buisman A S, *Handboek Radionucliden*, BetaText, Bergen NH (1996)
 10. NEN-EN 12469 (en), *Biotechnologie – Prestatie-eisen voor microbiologische veiligheidswerkkasten* (2000)
 11. NEN-EN 14175-1 (en), *Zuurkasten – Deel 1: Woordenlijst* (2003)
 12. NEN-EN 14175-2 (en), *Zuurkasten – Deel 2: Eisen voor veiligheid en juiste werking* (2003)
 13. NEN-EN 14175-3 (en), *Zuurkasten – Deel 3: Beproevingsmethoden voor typekeur* (2004)
 14. NEN-EN 14175-4 (en), *Zuurkasten – Deel 4: Beproevingsmethoden op locatie* (2004)
 15. NEN 4001:2005 Ontw. nl, *Brandbeveiliging - Projectering van draagbare en verrijdbare blustoestellen* (2005)
 16. Besluit Stralingsbescherming, Staatsblad 2001, 397
 17. Friedlander G, Kennedy J W, Miller J M, *Nuclear and radiochemistry*, 2d ed., (pg. 76-77), Wiley, New York (1964)
-



**Ministerie van Sociale Zaken
en Werkgelegenheid**

Postbus 9080 I
2509 LV Den Haag