

Samenvatting

In het kader van de aanvraag van een vergunning voor een aantal transporten per spoor van bestraalde splijstofelementen van de kerncentrale Borssele naar Frankrijk, heeft het Bevoegd Gezag gevraagd de risico's van deze transporten op het Nederlandse deel van de transportroute te berekenen en aan het Bevoegd Gezag te rapporteren.

De splijstofelementen worden vervoerd in daarvoor gecertificeerde containers, type TN17/2, die maximaal 7 elementen per container zullen bevatten. Bij de berekeningen mag in goede benadering worden aangenomen dat het risico evenredig is met het aantal getransporteerde containers. In de onderhavige studie zijn de berekeningen gebaseerd op 3 transporten per jaar, waarbij per transport 3 containers worden vervoerd.

De risico's voor de omwonenden, personeel en de gebruikers van de wegen en spoorwegen waarover deze transporten zullen plaatsvinden, zijn berekend overeenkomstig een methodiek die destijds door ECN in opdracht van de overheid is ontwikkeld. De resultaten van deze berekening, die uitgaat van het vervoer van 9 containers per jaar met een maximum van 3 containers per transport, kunnen als volgt worden samengevat:

Regulier transport

Het radiologisch risico van omwonenden en verkeersdeelnemers bij regulier transport is gekwantificeerd als de individuele effectieve dosis die jaarlijks door deze personen wordt ontvangen als een gevolg van de blootstelling aan ioniserende straling afkomstig van de transporten. De individuele effectieve dosis van de groep van meest blootgestelde omwonenden langs het grootste deel van het traject bedraagt maximaal 0,042 μSv per jaar. Voor omwonenden nabij het rangeerterrein bij station Roosendaal kan, als iedere trein met containers met gebruikte splijstofelementen twee uur op dezelfde plek zou stilstaan, de jaarlijkse dosis oplopen tot 6,5 μSv .

Het radiologisch risico van reizigers is berekend voor zowel reizigers die op het perron wachten op een trein, terwijl de trein met containers met splijstofelementen het station passeert, als voor reizigers in een trein die wordt gepasseerd door de trein met containers met splijstofelementen. Indien de reiziger aan alle transporten wordt blootgesteld, bedraagt de maximale dosis 0,57 μSv /jaar. Voor het deel van het transport dat over de weg plaatsvindt (van de kernenergiecentrale naar de haven), is berekend dat de meest blootgestelde weggebruiker (waarvan is verondersteld dat deze jaarlijks aan alle wegtransporten wordt blootgesteld) een dosis ontvangt van maximaal 0,88 μSv per jaar.

Op basis van studies in Groot Brittannië en Duitsland is geconcludeerd, dat de in een jaar te ontvangen dosis voor medewerkers van het overslagbedrijf die de containers van de vrachtwagen op de trein plaatsen, kleiner is dan 100 μSv .

Ongevallen zonder lozing

Het individueel risico op sterfte door een stralingsdosis ontvangen als gevolg van ongevallen tijdens het transport over de weg is kleiner dan 10^{-8} .

Het individueel risico op sterfte door een stralingsdosis ontvangen als gevolg van een ongeval tijdens het transport over de rails is berekend voor een werker die na een ongeval 8 uur in de directe nabijheid van de wagons met de containers moet werken om de schade te herstellen en de wagons vervoersgereed te maken. Het jaarlijks individueel risico is hierbij $7,4 \cdot 10^{-10}$. Indien eenzelfde beschouwing wordt gemaakt voor een ongeval op een rangeerterrein volgt een individueel risico op sterfte van $2,7 \cdot 10^{-9}$. Als de kans op val van een container uit de kraan tijdens overslag in ogenschouw wordt genomen, volgt een individueel risico op sterfte ten gevolge van de radiologische consequenties van het transport van $9,6 \cdot 10^{-10}$.

Ongevallen met lozing

Het jaarlijks individueel risico op sterfte voor omwonenden van de spoorlijn, als gevolg van een spoorwegongeval waarbij de container ten gevolge van buiten-ontwerp condities toch faalt en radioactieve stoffen in de omgeving vrijkomen, is maximaal $1,8 \cdot 10^{-12}$. Het jaarlijks individueel risico van sterfte voor omwonenden als gevolg van een dergelijk ongeval op een rangeerterrein is maximaal $1,8 \cdot 10^{-11}$. Bij deze ongevalsanalyses is verondersteld dat de container faalt met een kans van 10^{-3} tot 10^{-2} per ongeval afhankelijk van het type ongeval en de mate van falen, ondanks de aan container gestelde eisen (waaronder handhaving van de afscherming en insluiting na een val van 9 meter hoogte op een hard voorwerp bij willekeurige oriëntatie van de container en bestendig zijn tegen een blootstelling aan $800 \text{ }^\circ\text{C}$ gedurende een half uur).

Geconcludeerd mag worden dat het radiologisch risico van omwonenden, medewerkers en verkeersdeelnemers, in termen van ontvangen stralingsdosis, bij regulier transport van 9 containers per jaar, lager is dan de dosislimieten die in het Besluit Stralingsbescherming Kernenergiewet van 1996 worden gesteld. De maximale waarde van de individuele effectieve dosis voor omwonenden is (met uitzondering van de omwonenden van het rangeerterrein in Roosendaal) zelfs lager dan het zogenoemde secundaire niveau van $0,4 \text{ } \mu\text{Sv}$ per jaar.

Het individueel risico op sterfte door een stralingsdosis, ontvangen als gevolg van transportongevallen tijdens drie transporten per jaar van elk maximaal drie containers, is minder dan het maximaal toelaatbare risico (10^{-6} per jaar) en zelfs kleiner dan 10^{-8} per jaar, een risico dat in dagelijks spraakgebruik verwaarloosbaar mag worden genoemd.

Alternatieve route

Indien er voor wordt gekozen de containers met gebruikte splijtstofelementen in de haven van Vlissingen niet op een spoorwagon, maar op een schip over te laden, zijn de radiologische risico's verbonden aan het transport van de kernenergiecentrale naar de haven en de overslag voor beide routes gelijk. Het vervoltraject per schip is in deze studie niet beschouwd.

Inhoudsopgave

1. Inleiding	7
2. Gegevens van het transport	9
2.1 Verzender en vervoerder	9
2.2 Gegevens container en transportmiddel	9
2.3 Gegevens lading	10
2.4 Gegevens route	
3. Voorschriften en controles	13
4. Berekening van de risico's van het transport	15
4.1 Risico-analyse reguliere situatie	15
4.2 Risico-analyse niet-reguliere situaties	19
4.2.1 Ongevallen zonder lozing	21
4.2.2 Ongevallen met lozing	23
4.3 Alternatieve route per schip	24
4.3.1 risico-analyse reguliere situatie	24
4.3.2 risico-analyse niet-reguliere situaties	
5. Conclusies	25
6. Referenties	27
Bijlage: tekening container	

1. Inleiding

Doelstelling

In deze studie worden de radiologische risico's berekend als gevolg van het transport per spoor van containers met bestraalde splijtstofelementen, van de kernenergiecentrale Borssele (KCB) naar Frankrijk. Alhoewel het grootste deel van het traject per spoor wordt afgelegd, is om het spoor te bereiken, ook het vervoer van de containers over de weg noodzakelijk.

De transportvergunning voor het deel van het transport dat over de weg plaatsvindt, wordt bij het Bevoegd Gezag aangevraagd door Transnubel. De transportvergunning voor het deel van het transport dat per spoor plaatsvindt, wordt bij het Bevoegd Gezag aangevraagd door NS Cargo.

Het Bevoegd Gezag heeft gevraagd de risico's van dergelijke transporten te berekenen en te rapporteren. Dit rapport, dat in opdracht van de N.V. Elektriciteits-Produktiemaatschappij Zuid-Nederland (EPZ) door NRG is opgesteld, bevat de resultaten van deze berekening voor het deel van de route op Nederlands grondgebied.

Aanpak

Bij het uitvoeren van de gevraagde risicoberekening wordt gebruik gemaakt van de resultaten van de studies "Kwantificering van risico's vervoer van radioactieve stoffen (ECN-C-92-047)" [1] en "Risico's van radioactieve stoffen bij vervoer over de weg (ECN-CX-94-171)" [2], die destijds in opdracht van het ministerie van VROM door ECN zijn uitgevoerd. Volgens de in deze studies beschreven methodiek worden de risico's berekend van transporten van bestraalde splijtstofelementen in hiervoor gecertificeerde type B verpakkingen (containers). Tevens is gebruik gemaakt van een recente, in opdracht van de Europese Commissie DG XVII uitgevoerde, studie over dit onderwerp [3]. In deze studie staan tevens gegevens over de veiligheid van transporten van containers met splijtstofelementen per spoor in Groot Brittannië. Specifieke gegevens voor de inschatting van kansen op en risico's van ernstige ongevallen tijdens vervoer per spoor zijn ontleend aan de door de EU medegefinancierde studies [4], [5] en [6] en aan het rapport van Grontmij en SAVE "Consequentie-onderzoek - Risiconormering vervoer gevaarlijke stoffen" [7].

In goede benadering mag bij deze berekening worden aangenomen dat het risico per jaar evenredig is met het aantal containers dat per jaar getransporteerd wordt. In de onderhavige studie zijn de risico's berekend voor een realistisch scenario van drie transporten per jaar. Per transport worden daarbij drie containers vervoerd. De in deze studie uitgevoerde berekeningen zijn dus gebaseerd op 9 containers met bestraalde splijtstofelementen per jaar.

Alternatieve route

Als alternatieve route kan transport per schip naar Frankrijk worden overwogen. Hierbij worden de containers over de weg naar de haven van Vlissingen vervoerd en vervolgens overgeslagen op een schip. Voor het deel van dergelijke transporten dat wordt uitgevoerd over land, is een afweging van de risico's gemaakt.

Aanvoer lege containers

Alvorens de gebruikte splijtstofelementen kunnen worden afgevoerd moeten eerst lege containers naar de kernenergiecentrale worden gebracht. Deze lege containers zijn doorgaans vaker gebruikt en zijn door de aard van de vervoerde stoffen inwendig licht radioactief. De lege containers worden dan ook als radioactief transport behandeld (met onder meer waarschuwingsbord op de auto als aanduiding van de betreffende gevaarsklasse).

Het dosistempo van de lege containers is vele malen lager dan dat van de volle containers (20 μ Sv/uur op de huid over de container en vrijwel niet meer meetbaar op 2 m van de huid) [8]. De risico's van de transporten van de lege containers zijn dan ook niet verder beschouwd.

2. Gegevens van het transport

2.1 Verzender en vervoerder

EPZ is bij het onderbavige transport de *verzender*.

De vervoerder (het bedrijf dat verantwoordelijk is voor het vervoer) voor het deel van het transport dat over de weg plaatsvindt is Transnubel [9]. De vervoerder voor het deel van het transport per spoor is NS Cargo.

De transporteurs (het bedrijf dat de transportmiddelen beschikbaar stelt en bedient) zijn Mammoet (transport over de weg) en NS Cargo (transport per spoor).

Cogema is de ontvanger.

De vergunning voor het deel van het transport dat over de weg plaatsvindt, wordt bij het Bevoegd Gezag aangevraagd door Transnubel. De vergunning voor het deel van het transport dat per spoor plaatsvindt, wordt bij het Bevoegd Gezag aangevraagd door NS Cargo.

2.2 Gegevens container en transportmiddel

De splijstofelementen worden vervoerd in een cilindervormige container van het type TN17/2 (zie figuur 1 in de Bijlage) [10]. De container is bij transport aan de kopse kanten voorzien van schokdempers (zie figuur 1 in de Bijlage). De lengte inclusief schokdempers is 6150 mm. De diameter (inclusief dempers) is 1950 mm. In de container zijn 7 posities beschikbaar voor splijstofelementen. De TN17/2 heeft een zogenoemd 'Certificate of Approval', dat geldig is tot 2002, en is uitgegeven door de Franse overheid (DSIN) [11]. De container is eigendom van Transnucleaire Frankrijk.

De lengte van de spoorwagens bedraagt 20,7 m. De containers worden midden op de wagons geplaatst. De hart tot hart afstand tussen containers bedraagt dus eveneens 20,7 m [12].

Bij transport over de weg is de container in een frame geplaatst dat vrijwel gelijk loopt met de buitenkant van de vrachtwagen [8]. Bij vervoer per spoor wordt een omhullende aluminium constructie (huif) toegepast [11].

2.3 Gegevens lading

Met iedere TN17/2 container zullen maximaal 7 elementen van 320 kg U (3,3, 3,8 of 4,0 % initiële verrijking) worden vervoerd. De gemiddelde opbrand is respectievelijk [13]:

3,3 %	:	35 GWd/tU	11,2 GWd/element
3,8 %	:	43 GWd/tU	13,76 GWd/element
4,0 %	:	50 GWd/tU	16,0 GWd/element

2.4 Gegevens route

In verband met de fysieke beveiliging wordt de transportroute pas op het laatste moment bekend gemaakt. In onze analyses is een representatief traject gekozen. Overigens ligt een belangrijk deel van het traject in verband met de beperkte mogelijkheden van het spoornet in Zeeland vast.

[Redacted text block]

In de berekeningen is uitgegaan van de volgende gemiddelde snelheden per trajectdeel:

- lokale weg : 25 km/uur
- industrieel spoor : 60 km/uur
- algemeen spoor - vrije baan : 70 km/uur
- algemeen spoor - door/langs bebouwde kom : 50 km/uur
- stations : 25 km/uur

[Redacted text block]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

3. Voorschriften en controles

De regels voor het transport van containers met gebruikte splijtstoffen over de rails zijn vastgelegd in het VSG, "Reglement Vervoer per Spoor van Gevaarlijke stoffen", waarin de Europese regels uit het RID zijn opgenomen (Réglement concertant le transport International ferroviaire des marchandises Dangereuses). De regels voor het transport over de weg zijn vastgelegd in het VLG, "Vervoer over Land van Gevaarlijke stoffen", waarin de Europese regels uit het ADR zijn opgenomen (Accord Européen relatif au transport des marchandises Dangereuses par Route).

Voor het transport kan vertrekken, dienen diverse parameters gecontroleerd te worden. Twee belangrijke parameters voor de veiligheid van transportmedewerkers en publiek zijn het dosistempo op de container en op enige afstand van de container en het niveau van de afwrijfbare oppervlakte besmetting aan de buitenzijde van de container. De eisen ten aanzien van deze parameters zijn als volgt:

Dosistempo:

Het dosistempo aan het buitenoppervlak van het transport mag ten hoogste 2 mSv/uur bedragen. Op 2 meter van de buitenzijde van een transportwagen, mag het dosistempo de waarde van 0,1 mSv/uur niet overschrijden.

Oppervlakte besmetting:

Voor bèta en gamma stralers is de toegestane waarde voor afwrijfbare oppervlaktebesmetting 4 Bq/cm². Voor alfa stralers is dit maximum 0,4 Bq/cm².

Het dosistempo kan door een directe meting worden bepaald, de oppervlaktebesmetting wordt middels een afwrijfproef vastgesteld. De gebruikte methode is beschreven in de internationale standaard ISO 7503-1 [14].

Een transport mag het terrein van de kernenergiecentrale Borssele pas verlaten nadat aan alle bovenstaande voorwaarden is voldaan. Het dosistempo, gemeten op 2 meter van de container, blijkt in de praktijk veelal lager te liggen dan de wettelijke limiet van 0,1 mSv/uur. Als conservatieve¹ aanname zal evenwel worden uitgegaan van 0,1 mSv/h.

¹ Conservatieve aanname wil zeggen dat wordt uitgegaan van pessimistische veronderstellingen, die leiden tot een overschatting van de gevolgen en risico's.

4. Berekening van de risico's van het transport

Het risico is in goede benadering evenredig met het aantal getransporteerde containers. De risicoberekeningen zijn uitgewerkt voor het scenario van 3 transporten per jaar, met drie containers per transport.

4.1 Risico-analyse reguliere situatie

Het radiologisch risico van de leden van de bevolking bij regulier transport (oftewel het ongevalvrije transport) wordt bepaald door de stralingsdosis die door deze personen wordt ontvangen, als gevolg van de blootstelling aan ioniserende straling afkomstig van het transport. Deze stralingsdosis is evenredig met de blootstellingsduur (die wordt bepaald door de passage snelheid van het transport) en het dosistempo tijdens blootstelling (dat wordt bepaald door de afstand tussen de blootgestelde persoon en de transportwagen en het dosistempo aan de buitenzijde van de transportwagen). Aan het dosistempo aan de buitenzijde van de transportwagen zijn wettelijke limieten gesteld, zoals eerder uiteengezet. Bij de berekening van de stralingsdosis van leden van de bevolking wordt er van uitgegaan dat het dosistempo op 2 meter van de buitenzijde van de transportwagen gelijk is aan de wettelijke limiet (conservatieve aanname) en dus precies 0,1 mSv/uur bedraagt.

Bij de berekening van het radiologisch risico van leden van de bevolking door blootstelling aan ioniserende straling bij reguliere situaties, worden de maximale stralingsdoses bepaald van leden van groepen van personen die, in vergelijking met andere leden van de bevolking, het meest aan de ioniserende straling van de passerende transporten zullen worden blootgesteld. Deze groepen, de zogenoemde referentiegroepen, zijn:

- De bewoners van woningen langs het traject (omwonenden), met name zij die dicht langs de spoorbaan, weg, overslag- of rangeerterrain wonen waarover de transporten plaatsvinden.
- Medewerkers van het overslagbedrijf dat de overslag van vrachtauto naar trein verzorgt.
- Treinreizigers die op een station wachten op een passagierstrein, terwijl een trein met containers het station passeert.
- Treinreizigers die zich in een trein bevinden die een trein met containers passeert.
- Weggebruikers die dagelijks (een deel van) het traject rijden dat de vrachtwagens volgen (bijvoorbeeld forensen die dagelijks op vaste tijden dezelfde route rijden). Deze weggebruikers (met name de groep die de route volgt rond hetzelfde tijdstip dat het transport ook aanwezig is) zijn in vergelijking met de overige weggebruikers de meest blootgesteld.

Omwonenden traject

De dosis per container passage wordt gegeven door [2], [3] en [15]:

$$D(x) = \pi \cdot K_{eff} / (v \cdot x)$$

met:

v = transportsnelheid [m/h],

x = afstand tussen transport en ontvanger [m]

Voor gebruikte splijstof transporten is een K_{eff} van $1,13 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ gerapporteerd in [2] en [15]. In dit rapport wordt de ook in [15] genoemde (meer conservatieve) waarde van $1,5 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ gehanteerd.

De route van het transport kan per keer wisselen. Een groot deel van het traject is echter altijd hetzelfde. De afstand tussen het transport en woonhuizen langs de route bedraagt circa 25 m of meer [11]. In de berekeningen wordt als conservatieve aanname een afstand van 10 m gehanteerd. Verder wordt permanente bewoning aangenomen. De afschermdende werking van de muren en de variatie in blootstelling ten gevolge van leefgewoonten wordt verrekend door middel van de zogenoemde Actuele Blootstellings Correctie-factor (de ABC-factor). Toepassing van de ABC-factor voor de woonomgeving geeft een dosisreductie met een factor 4.

In onze conservatieve analyse gaan we er van uit, dat de vrachtwagens en treinen met containers de woningen met een vrij lage snelheid passeren (25 km/uur).

De dosis per container passage wordt zodoende:

$$3,14 \times 1,5 / (25 \cdot 10^3 \times 10 \times 4) = 4,71 \cdot 10^{-6} \text{ mSv.}$$

De dosis bij 3 transporten met elk 3 containers per jaar komt daarmee op:

$$3 \times 3 \times 4,71 \cdot 10^{-6} = 4,2 \cdot 10^{-5} \text{ mSv/jaar (0,042 } \mu\text{Sv/jaar).}$$

Omwonenden rangeerterrein

Alhoewel het rangeren van wagons met containers met gebruikte splijstof met hoge prioriteit zal worden uitgevoerd is een zekere periode waarin de wagons stilstaan niet te vermijden. In een studie naar het transport van hoogradioactief afval van Frankrijk naar Duitsland [4] wordt vermeld dat de wachttijd in het rangeerstation aan de Frans/Duitse grens gemiddeld $\frac{1}{2}$ uur is en zelden boven 1 uur uitkomt. In [3] wordt een wachtduur van 2 uur gehanteerd. Aangenomen wordt dat het transport 2 uur blijft staan op het rangeerterrein bij station Roosendaal. In deze beschouwing van de dosis voor omwonenden kunnen de containers worden beschouwd als puntbronnen. Het dosistempo bij het dichtstbijzijnde woonhuis ten gevolge van één puntbron wordt gegeven door:

$$D_i^{\circ} = D^{\circ} \cdot x \cdot (r^2 / l^2)$$

met:

D_i° = dosistempo op afstand l van de container [mSv/uur]

- D_r = gegeven dosistempo op afstand r van de container [mSv/uur]
 r = afstand van de container waarop het dosistempo bekend is [m]
 l = afstand van de container waarop het dosistempo wordt gevraagd [m]

Bij een afstand van 25 meter tussen transport en dichtstbijzijnde huizen (een conservatieve raming), een dosistempo op 2 m van de container (= 3 meter van de bron) van 0,1 mSv/uur en een ABC-factor van 0,25 kan worden berekend dat de ontvangen dosis per container 0,72 μ Sv bedraagt. Bij negen containers per jaar (die in conservatieve schatting alle negen op dezelfde afstand van het woonhuis zijn gestationeerd) bedraagt de maximale jaarlijkse dosis van een omwonende van het rangeerterrein 6,5 μ Sv.

Medewerkers overslagterrein

Het verplaatsen van containers (van de vrachtwagen naar de trein) wordt uitgevoerd door radiologisch personeel van Transnubel dat tot de categorie radiologisch werkers behoort [9]. De radiologische risico's van dit personeel bij deze transporten zijn verdisconteerd in de reguliere stralingshygiënische zorg van Transnubel.

Voordat de transporten kunnen vertrekken zullen de wagons worden gecontroleerd door onder meer personeel van NS Cargo.

Voor het bepalen van de daarbij verwachte dosis, wordt gebruik gemaakt van de ervaringen met overslag van containers met bestraalde splijtstofelementen in het buitenland. Er zijn twee referenties gebruikt ([3] en [4]), waarin transporten van B-containers per spoor in Groot Brittanië en van Frankrijk naar Duitsland beschreven zijn.

In [3] is voor Groot Brittannië aangegeven wat de stralingsbelasting van het personeel betrokken bij overslag van bestraalde splijtstof elementen in de praktijk is: Jaarlijks worden daar circa 600 containers vervoerd in circa 130 transporten. Hierbij ontvangen havenpolitie en ladingcontroleurs een individuele dosis die lager is dan 100 μ Sv/jaar. In de praktijk zal, door wisseling van diensten, niet iedere medewerker bij alle transporten betrokken zijn. Omrekenen van dit getal naar een dosis per transport is niet zonder meer mogelijk. Op basis van de grote aantallen transporten in Groot Brittannië in vergelijking tot het in dit rapport beschouwde scenario, mag worden aangenomen, dat de individuele dosis voor de betrokken medewerkers op het overslagterrein kleiner is dan 100 μ Sv/jaar.

In [4] is de situatie beschreven rond de transporten van opgewerkt afval van Frankrijk naar Duitsland. De uitgangspunten in de studie zijn (onder meer) de volgende: Jaarlijks worden 15 wagons met verglaasd afval en 50 wagons met elk twee containers met bitumineus afval per spoor getransporteerd van Valogne (nabij Cap La Hague in Frankrijk) naar Dannenberg (nabij Gorleben in Duitsland).

De jaarlijks te ontvangen individuele dosis voor de rangeerders kan hierbij oplopen tot 200 $\mu\text{Sv}/\text{jaar}$. De gemiddelde dosis per wagon is dus minder dan 3,1 μSv . Voor drie transporten van elk 3 wagons zou dit overeenkomen met minder dan 28 $\mu\text{Sv}/\text{jaar}$.

De dosis van Duitse medewerkers is hoger dan van die in Groot Brittannië, omdat de wagons met radioactief afval in de Duitse studie zijn opgenomen in reguliere goederentreinen. Dit brengt met zich mee dat op de tussenliggende stations veel moet worden gerangeerd en er daardoor voor een beperkt aantal medewerkers sprake is van een langere blootstellingsperiode. Indien bij het transport van Borssele naar de Belgische grens geen andere goederen dan containers met gebruikte splijstofelementen worden vervoerd, mag worden aangenomen dat de situatie in Nederland vergelijkbaar zal zijn met die in Groot Brittannië. Het controlerend personeel zal, bij overslag van 9 splijstofcontainers per jaar, een dosis ontvangen die kleiner is dan 100 $\mu\text{Sv}/\text{jaar}$. Ook indien er wel sprake is van extra rangeren in verband met andere lading op de trein, dan kan (door zorgvuldige planning van werkzaamheden) er voor worden gezorgd dat de te ontvangen dosis voor de betrokken medewerkers onder de 100 $\mu\text{Sv}/\text{jaar}$ blijft.

Treinreizigers

Voor zowel reizigers die op het perron wachten op een trein, terwijl het transport het station passeert, als reizigers in een trein die wordt gepasseerd door het transport, kan dezelfde methode als voor omwonenden worden toegepast. De (relatieve) snelheid wordt op 25 km/uur gesteld en de afstand (overeenkomstig [3]) op 3 m. Hierbij wordt geen correctie voor afscherming toegepast. De dosis ontvangen per container passage bedraagt zodoende:

$$3,14 \times 1,5 / (25 \cdot 10^3 \times 3) = 6,3 \cdot 10^{-5} \text{ mSv.}$$

De dosis voor drie transporten per jaar komt daarmee op:

$$3 \times 3 \times 6,3 \cdot 10^{-5} = 5,7 \cdot 10^{-4} \text{ mSv/jaar (0,57 } \mu\text{Sv/jaar)}$$

Medeweggebruikers

De kans dat een individuele weggebruiker een transport 'tegen komt' is uitermate gering. Het transport over de weg bestrijkt slechts 3 km op een industrieterrein. Hier zijn geen files te verwachten. Het is onwaarschijnlijk dat een individuele weggebruiker in één jaar alle transporten zal tegenkomen. Toch wordt in de onderhavige analyse hiervan uitgegaan, hetgeen een conservatieve aanname is.

Lokale wegen met in beide richtingen één baan zijn destijds ook in de analyses in [2] beschouwd en later verder uitgewerkt in [3]. Bij gebruik van de resultaten van [3] op basis van 9 containers per jaar, wordt de berekende dosis, voor de medeweggebruiker op een tweebaansweg, 0,88 μSv per jaar. Hierbij is ook tijdelijk stilstaan achter een transport (zoals bij verkeerslichten) beschouwd.

Transport per spoor

De volgende data betreffende ongevallen zijn uit [6] en [7] overgenomen. Omdat er geen statistisch relevante gegevens beschikbaar zijn over treinongevallen bij het transport van containers met gebruikte splijstof per spoor (door het zeer geringe aantal treinongevallen bij dergelijke transporten), wordt gebruik gemaakt van meer algemene data met betrekking tot het goederenvervoer per spoor. Overeenkomstig een publicatie van het ministerie van VROM [17] wordt daarbij verwezen naar gegevens met betrekking tot transport van gevaarlijke gassen.

Bij gebrek aan vrij beschikbare gegevens over de Nederlandse situatie, wordt gebruik gemaakt van gegevens uit andere West-Europese landen. Uit ongevalsstatistieken van het goederen verkeer per spoor in Groot Brittannië en Duitsland [6], blijkt dat de kans op een ongeval ongeveer $2,6 \cdot 10^{-8}$ ongevallen/wagon-km bedraagt (zie Tabel 1). Bij ruwweg 10 % van de ongevallen treedt brand op. De overige ongevallen geven alleen botsingschade.

In [7] worden ongevalsfrequenties gegeven voor verschillende typen ketelwagens (zie Tabel 1). Naarmate de inhoud van de wagen gevaarlijker eigenschappen heeft, neemt de kans op een ongeval af. Deze lagere kans wordt veroorzaakt door het treffen van extra maatregelen bij het transport van deze stoffen.

Tabel 1. Ongevalsfrequenties bij goederentransport per spoor.

type wagon	frequentie [ongevallen per wagon-km]	bron
diverse goederen	$2,6 \cdot 10^{-8}$	[6]
vloeistof/ketelwagen	$2,2 \cdot 10^{-8}$	[7]
drukketelwagens, brandbaar gas en toxisch gas	$2,8 \cdot 10^{-9}$	[7]
drukketelwagens, zeer toxisch gas	$5,6 \cdot 10^{-10}$	[7]

In de onderstaande berekening wordt als conservatieve ongevalsfrequentie $2,6 \cdot 10^{-8}$ ongevallen per wagon-km uit [6] gehanteerd. De ongevalsfrequentie per trein-km komt voor een transport van drie wagons op:

$$2,6 \cdot 10^{-8} \times 3 = 7,8 \cdot 10^{-8}$$

Verondersteld wordt dat na een ongeval medewerkers gedurende 8 uur in de directe nabijheid van de transportcontainer moeten werken om deze weer transportabel te maken en daarbij een dosis van 0,8 mSv ontvangen. Met een risicofactor op late-sterfte van $5 \cdot 10^{-2}$ [Sv⁻¹], wordt het maximaal individueel risico bij drie transporten per jaar:

$$3 \times 7,8 \cdot 10^{-8} \times 0,8 \text{ [mSv]} \times 10^{-3} \text{ [Sv/mSv]} \times 5 \cdot 10^{-2} \text{ [Sv}^{-1}\text{]} \times 79 \text{ km} = 7,4 \cdot 10^{-10}$$

Rangeerterrain

In [18] wordt een overzicht gepresenteerd van aantallen ongevallen tijdens rangeren op het rangeerterrain Braunschweig. Dit rangeerterrain heeft in verhouding tot andere rangeerterrains grotere ongevalsrisico's. Dit komt omdat, op het hier licht hellende spoor, voor transport van de wagons veelal niet van gemotoriseerde aandrijving gebruik wordt gemaakt, maar van de zwaartekracht. Het gemiddeld aantal ongevallen in het (algemene) goederenverkeer op Braunschweig bedraagt 7,5 per miljoen wagons. Bij het rangeren van 9 wagons per jaar en een veronderstelde dosis van 0,8 mSv per ongeval volgt een jaarlijks individueel risico van:

$$9 \times 7,5 \cdot 10^{-6} \times 0,8 \times 5 \cdot 10^{-5} = 2,7 \cdot 10^{-9}$$

Dit geeft een conservatieve benadering omdat het aantal ongevallen op Braunschweig groter is dan op rangeerterrains waar alleen gemotoriseerd transport plaatsvindt.

4.2.2 Ongevallen met lozing

Lozing uit een container is slechts mogelijk nadat de container beschadigd is door een zeer hevige schok of door langdurige blootstelling aan vuur. De containers zijn ontworpen om tenminste een vrije val van 9 meter hoogte op een harde ondergrond en blootstelling aan 800 °C rondom gedurende 30 minuten te weerstaan.

In de praktijk is lekkage van een B-container ten gevolge van een verkeersongeval nog niet voorgekomen [19]. In [5] is het gedrag van containers voor vervoer van gebruikte splijstof bij een extreem (hypothetisch) ongeval onderzocht.

Gebleken is dat een container van een hoogte van tenminste 30 meter op beton of asfalt moet vallen voordat er dusdanige beschadiging optreedt dat er een lozing kan plaatsvinden. Een dergelijke valhoogte komt noch tijdens overslag noch op het spoortraject voor. Een ander onderzocht "worst case" scenario is botsing met een locomotief of andere splijstofcontainer op volle snelheid. Ook hierbij treden geen krachten op die groot genoeg zijn om de container te beschadigen.

Als de container alzijdig wordt blootgesteld aan vuur van 800 °C, duurt het tenminste 2 uur, voordat de pakkingen doorslag gaan vertonen. Hierbij kunnen alleen bij splijting ontstane gassen uit beschadigde splijstofstaven en besmetting op het oppervlak van de splijstofelementen vrijkomen. Voordat de hulzen van de splijstofstaven falen, moet het vuur tenminste 6 uur hebben geduurd. Dit zijn zeer onwaarschijnlijke condities. Er is evenwel in dit rapport gebruik gemaakt van de (zeer conservatieve) aannames voor lozingskansen uit [1].

Voor de berekening van het risico van een transportongeval waarbij de transportcontainer beschadigd raakt en een lozing van radioactieve stoffen optreedt, wordt gebruik gemaakt van de analysemethode van de NRPB uit [20] die al eerder is gebruikt in [1]. In [20] is uitgegaan van

gebruikte splijstofelementen van lichtwaterreactoren (LWR). De hoeveelheid en samenstelling van de radionucliden in een LWR splijstofelement worden grotendeels bepaald door de opbrand van de splijstofelementen², uitgedrukt in MWd (MegaWatt.dag) of GWd (GigaWatt.dag). Bij gelijkblijvende ongevalscondities is de dosis ten gevolge van een ongeval, evenredig met de opbrand van de splijstofelementen.

Bij een zending van gebruikte KCB splijstof zal een container een maximale hoeveelheid activiteit in de orde van 112 GWd bevatten [13]. Dit is een lading bestaande uit 7 splijstofelementen. In een transport met drie containers bevindt zich maximaal 336 GWd. In [20] wordt uitgegaan van een hoeveelheid splijstof met een totale opbrand van ongeveer 110 GWd. Dit is ongeveer een factor 3,1 kleiner dan bij de zending KCB splijstof. De door de ICRP gehanteerde risicofactor is $5 \cdot 10^{-2}/\text{Sv}$ ($2,5 \cdot 10^{-2}/\text{Sv}$ in studie [1]). Verder wordt uitgegaan van de ongevalsrequentie bij transport per spoor van $2,6 \cdot 10^{-8}$ per wagonkilometer. Op een spoorsegment van 1 km lengte is de kans op een ongeval dan, uitgaande van 3 transporten van 3 wagons per jaar, gelijk aan $2,3 \cdot 10^{-7}$. De resultaten zijn in de volgende tabel gegeven. Er zijn geen vroege effecten van straling bij deze ongevalslozingen te verwachten. In deze berekening wordt aangenomen dat alle drie containers in een transport beschadigd raken bij een ongeval. Dit is een conservatieve benadering. Overigens geeft de verhouding tussen de lengte van het beschouwde spoordeel (1 km) en de beschouwde reikwijdte (100 m) ook al aan, dat ook hier sprake is van een overschatting van de risico's.

² Naast de opbrand van de splijstof is ook de koeltijd (tijd tussen laatste maal in bedrijf zijn van de splijstof en de transportdatum) van invloed op de nuclidensamenstelling. Naarmate de koeltijd langer is, zal de concentratie van een aantal bij een lozing vrijkomende radionucliden (zoals Co-60, Kr-85 en Cs-134) door radioactief verval afnemen. Bij de lozingen T1 en T2 (zie Tabel 2) is een koeltijd van 5 jaar gehanteerd. Er is in dezelfde studie ook een lozing T4 gedefinieerd waarbij de koeltijd ½ jaar is. Daarbij is echter voor T4 ook de hoogte van het lozingspunt aangepast waardoor de resultaten niet eenvoudig te schalen zijn. Afhankelijk van de afstand tot het lozingspunt is de berekende dosis bij de korte koeltijd 1,7 tot 4,4 keer zo hoog als bij de koeltijd van 5 jaar.

De voor transport toe te passen koeltijd wordt mede bepaald door de transportnormen met betrekking tot dosistempo op het oppervlak en op 2 m afstand van het transport. Bij korte koeltijden is het dosistempo van gebruikte splijstofelementen hoog en wordt soms al bij lagere beladingsgraad van de container de norm bereikt. Daarom worden in de praktijk doorgaans koeltijden van enkele jaren gehanteerd. Als in een ongunstig geval de splijstofelementen al na een koeltijd van een half jaar zouden worden getransporteerd, dan zouden de in deze paragraaf berekende risico's met niet meer dan een factor $4 \frac{1}{2}$ toenemen, het geen nog ruimschoots binnen de gestelde eisen is.

Tabel 2. Risico's van omwonenden (binnen 100 meter van de weg) bij veronderstelde lozingen na een ongeval met een splijstofcontainer. Methode gebaseerd op [20].

Scenario's T1 en T2			
kans op ongeval op een segment /jaar ^{a)}	kans op lozing na een ongeval ^{b)}	conditioneel risico op sterfte na een lozing ^{c)}	Individueel risico, late sterfte ^{d)}
$2,3 \cdot 10^{-7}$	T1: 10^{-2}	$7,8 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-12}$
$2,3 \cdot 10^{-7}$	T2: 10^{-3}	$5,6 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-12}$

^{a)} $9 \times 2,6 \cdot 10^{-8} = 2,3 \cdot 10^{-7}$

^{b)} Bij type transportongeval T1 komt $3 \cdot 10^{-4}$ deel van het cesium, 0,3 deel van de edelgassen en $2,5 \cdot 10^{-3}$ deel van het cobalt vrij, en $1 \cdot 10^{-6}$ deel van de andere splijtingsproducten. Lozing uit puntbron, duur 1,5 uur.

Bij type T2 komt 0,3 deel van de edelgassen en $2,5 \cdot 10^{-3}$ deel van het cobalt en $1 \cdot 10^{-3}$ deel van alle overige nucliden vrij. De lozing uit de veronderstelde oppervlaktebron, duurt 3 minuten.

^{c)} Conditioneel risico in [20] voor T1 en T2 is resp. $2,5 \cdot 10^{-4}$ en $1,8 \cdot 10^{-3}$. Vermenigvuldigen met 3,1 levert de getallen in de tabel.

^{d)} Late sterfte is gebaseerd op de effectieve dosis door bestraling vanuit de wolk en de inhalatie van radioactieve stoffen tijdens de lozing, tot op 100 meter van de lozing. Bij grotere afstanden wordt deze effectieve dosis door afname van de concentratie van radioactieve stoffen in de lucht lager.

Rangeerterrain

De krachten die kunnen optreden tijdens botsing bij de lage snelheden tijdens rangeren zijn onvoldoende om mechanische beschadiging van de containers tijdens rangeren te veroorzaken.

Uit [18] volgt dat gemiddeld bij 3,4 % van de ongevallen met (algemene) goederentreinen op het rangeerterrain een brand met een temperatuur van 800 °C en een duur van 1 uur plaats zal vinden. Een dergelijke brand zal niet plaatsvinden tenzij het brandbare materiaal uit een andere bron (bijvoorbeeld een ketelwagen met brandbare vloeistof) vrijkomt. Uitgaande van een kans op een ongeval van $7,5 \cdot 10^{-6}$ per wagon volgt, bij hanteren van bovenstaande sterk conservatieve benadering, een individueel risico voor late sterfte bij een T1- of T2-type ongeval van respectievelijk $1,8 \cdot 10^{-11}$ en $1,3 \cdot 10^{-11}$. Indien bij de transporten vanuit Borssele, anders dan in de genoemde studie, geen gemengde goedertransporten plaatsvinden, geeft het hanteren van de in [18] genoemde kansen een nog grotere overschatting van de risico's.

4.3 Alternatieve route per schip

Als alternatieve route kan transport per schip naar Frankrijk worden overwogen. Hierbij worden de containers over de weg naar de haven van Vlissingen vervoerd en vervolgens overgeslagen op een schip. Voor het deel van het transport dat over land plaatsvindt, zijn de in dit rapport gegenereerde getallen eveneens toepasbaar.

4.3.1 risico-analyse reguliere situatie

Medeweggebruikers

De route en omstandigheden van het transport van de kernenergiecentrale naar de haven zijn gelijk aan de eerder beschreven situatie. De in § 4.1 gegeven afwegingen en daar uit berekende dosis zijn dus ook van toepassing op een reis naar de haven die wordt gevolgd door overslag naar een schip.

Medewerkers overslagterrein

De omstandigheden en handelingen die worden uitgevoerd bij overslag van vrachtwagen naar schip wijken niet significant af van die bij overslag van vrachtwagen naar spoorwagon (8). De in § 4.1 gegeven afwegingen en daar uit volgende dosis zijn ook van toepassing bij overslag naar een schip.

De referentiegroepen 'omwonenden rangeerterrein', 'treinreizigers' en 'omwonenden traject' zijn niet van toepassing.

4.3.2 risico-analyse niet-reguliere situaties

De beschouwingen in § 4.2 met betrekking tot transport over de weg en overslag zijn eveneens van toepassing voor het traject naar het schip. De berekeningen aangaande transport per spoor en rangeren zijn niet relevant voor het traject naar het schip.

Lozing van radioactieve stoffen na een ongeval wordt niet voorzien. De bij een ongeval optredende mechanische krachten zijn te laag om lekkage van de container te veroorzaken en er is onvoldoende brandbaar materiaal in de directe nabijheid van de containers om een ongecontroleerde brand (waarbij de container tenminste 1 uur aan 800 °C blootstaat) te laten ontstaan.

5. Conclusies

De risico's van transporten per spoor van containers met bestraalde splijstofelementen van de KCB te Borssele via de Belgische grens naar Frankrijk zijn berekend (voor het deel van het transport dat plaatsvindt op Nederlands grondgebied), uitgaande van conservatieve aannames. In goede benadering mag bij deze berekening worden aangenomen dat het risico evenredig is met het aantal containers dat getransporteerd wordt. In de onderhavige studie zijn de risico's berekend voor een realistisch scenario van drie transporten per jaar. Per transport worden daarbij drie containers vervoerd. De in deze studie uitgevoerde berekeningen zijn dus gebaseerd op 9 containers met bestraalde splijstofelementen per jaar.

De berekeningen zijn conservatief uitgevoerd. Dat wil zeggen dat de waarden van parameters en kentallen zo zijn gekozen, dat wordt uitgegaan van een pessimistisch scenario. Er vindt dus een overschatting van de risico's plaats.

Regulier transport

Het radiologisch risico van omwonenden en verkeersdeelnemers bij regulier transport is gekwantificeerd als de individuele effectieve dosis die jaarlijks door deze personen wordt ontvangen als een gevolg van de blootstelling aan ioniserende straling afkomstig van de transporten. De individuele effectieve dosis van de groep van meest blootgestelde omwonenden langs het grootste deel van het traject bedraagt maximaal 0,042 μSv per jaar. Alleen omwonenden nabij het rangeerterrein bij station Roosendaal zouden, indien elk transport telkens twee uur op dezelfde plek zou stilstaan, jaarlijks een dosis van 6,5 μSv kunnen ontvangen.

Het radiologisch risico⁴ van reizigers is berekend voor zowel reizigers die op het perron wachten op een trein, terwijl het transport het station passeert, als voor reizigers in een trein die wordt gepasseerd door het transport. Indien de reiziger aan alle transporten wordt blootgesteld, bedraagt de maximale dosis 0,57 μSv /jaar. Voor het deel van het transport dat over de weg plaatsvindt (van de kernenergiecentrale naar de haven), is berekend dat de meest blootgestelde weggebruiker (waarvan is verondersteld dat deze jaarlijks aan alle drie de transporten wordt blootgesteld) een dosis ontvangt van maximaal 0,88 μSv per jaar.

Op basis van studies in Groot Brittannië en Duitsland is geconcludeerd, dat de in een jaar te ontvangen dosis voor medewerkers van het overslagbedrijf die de containers van de vrachtwagen op de trein plaatsen, kleiner is dan 100 μSv .

Ongevallen zonder lozing

Het individueel risico op sterfte door een stralingsdosis ontvangen als gevolg van ongevallen tijdens het transport over de weg is kleiner dan 10^{-4} .

Het individueel risico op sterfte door een stralingsdosis ontvangen als gevolg van ongevallen tijdens het transport over de rails is berekend voor een medewerker die 8 uur in de directe nabijheid van het transport moet werken om dit weer transportabel te maken. Het jaarlijks individueel risico is hierbij $7,4 \cdot 10^{-10}$. Indien eenzelfde beschouwing wordt gemaakt voor een ongeval op een rangeerterrein volgt een individueel risico op sterfte van $2,7 \cdot 10^{-9}$. Als de kans op val van een container uit de kraan tijdens overslag in ogenschouw wordt genomen, volgt een individueel risico op sterfte van $9,6 \cdot 10^{-10}$.

Ongevallen met lozing

Het jaarlijks individueel risico op sterfte voor omwonenden, als gevolg van een spoorwegongeval waarbij de container ten gevolge van buiten-ontwerp condities toch faalt en radioactieve stoffen in de omgeving vrijkomen, is maximaal $1,8 \cdot 10^{-12}$. Het jaarlijks individueel risico van sterfte voor omwonenden als gevolg van een dergelijk ongeval op een rangeerterrein is maximaal $1,8 \cdot 10^{-11}$. Bij deze ongevalsanalyses is verondersteld dat de container faalt met een kans van 10^{-3} tot 10^{-2} per ongeval afhankelijk van het type ongeval en de mate van falen, ondanks de aan container gestelde eisen (waaronder handhaving van de afscherming en insluiting na een val van 9 meter hoogte op een hard voorwerp bij willekeurige oriëntatie van de container en bestendig zijn tegen een blootstelling aan $800 \text{ }^\circ\text{C}$ gedurende een half uur).

Geconcludeerd mag worden dat de stralingsbelasting van omwonenden, medewerkers en verkeersdeelnemers, in termen van ontvangen stralingsdosis, bij regulier transport van 9 containers per jaar, lager zijn dan de in het Besluit Stralingsbescherming Kernenergiewet van 1996 gestelde grenzen. De maximale waarde van de individuele effectieve dosis voor omwonenden (met uitzondering van de omwonenden van het rangeerterrein in Roosendaal) is zelfs lager dan het zogenoemde secundaire niveau van $0,4 \text{ } \mu\text{Sv}$ per jaar.

Het individueel risico op sterfte door een stralingsdosis, ontvangen als gevolg van transportongevallen tijdens drie transporten per jaar van elk maximaal drie containers, is minder dan het maximaal toelaatbare risico (10^{-6} per jaar) en zelfs kleiner dan 10^{-8} per jaar, een risico dat in dagelijks spraakgebruik verwaarloosbaar mag worden genoemd.

Alternatieve route

Indien er voor wordt gekozen de containers met gebruikte splijtstofelementen in de haven van Vlissingen niet op een spoorwagon, maar op een schip over te laden, zijn de radiologische risico's verbonden aan het transport van de kernenergiecentrale naar de haven en de overslag voor beide routes gelijk. Het vervoltraject per schip is in deze studie niet beschouwd.

6. Referenties

- [1] Hienen J.F.A. van, Jansma R.: *Kwantificering van risico's vervoer van radioactieve stoffen*, studie in opdracht van het Ministerie van VROM-DGM, ECN-C-92-047, juli 1992
- [2] Jansma R., Hienen J.F.A. van: *Risico's van radioactieve stoffen bij vervoer over de weg*, studie in opdracht van het Ministerie van VROM-DGM, ECN-C-94-171, november 1994
- [3] *The Evaluation of the Situation in the European Community (EC) as regards Safety in the Transport of Radioactive material and the Prospects for the Development of such Type of Transport*, EU Contract 4.1020/D/97-003, Revised Final Draft Report, February 1999.
- [4] Fett H.J. et.al.: *Transport Risk Assessment Study for Reprocessing Waste Materials to be Returned from France to Germany - Final Report*, GRS-141, ISBN 3-923875-98-3, September 1997.
- [5] *Accident Analysis of Spent Fuel Shipping Casks transported by Rail and Sea*, EU Contract 4.1020/D/97-006, October 1998.
- [6] Heywood J.D., Schwarz G., Fett H.J.: *Functioning of the Single Market: Harmonisation of the Performance of the Packages and the Level of Intrinsic Safety of the Material - Draft Final Report*, Contract DGXVII 4.1020/D/97-005, April 1999.
- [7] *Consequentie-onderzoek Risiconormering vervoer gevaarlijke stoffen - Tweede fase*, studie in opdracht van het Ministerie van VROM-DGM, Grontmij Advies&Techniek bv i.s.m. ingenieurs/ adviesbureau SAVE, juni 1994
- [8] Merckaert G., Transnubel: persoonlijke mededeling, 6 januari 2000.
- [9] Merckaert: *Risicostudie splijstoftransporten per spoor*, Fax Transnubel 54.100/380D, 15 november 1999.
- [10] Munck R. de: *Gegevens risico studie aftransporten*, brief EPZ TN17/2 risico studie, 16 juli 1999.
- [11] Munck R. de: *Info route certificering*, fax EPZ TN17/2 risico studie, 21 juli 1999.
- [12] Merckaert G.: *Aanvullende gegevens t.b.v. risicostudie transport*, fax Transnubel 7 december 1999.
- [13] Bloois J.T. van: *Risico-berekening KCB-transport*, fax EPZ 16 juli 1999.
- [14] International Standard ISO 7503-1, *Evaluation of surface contamination*, ISO, 1988
- [15] Hienen J.F.A. van, Jansma R.: *Public exposures due to frequent shipments of radioactive materials by road*, RAMTRANS, Vol 10, No. 1 pp 45-49 (1999).
- [16] Gemert F. van, Hienen, J.F.A. van: *Risicoberekening transport over de weg van KCB splijstofelementen - Beoordeling van de veiligheid van het transport over de weg van bestraalde splijstofelementen van de kernenergiecentrale Borssele naar de Belgische grens*, NRG, 910161/99.27678/C, september 1999.
- [17] Janssen L.A.M.: *Onderzoek naar kansen op mogelijke ongevallen met radioactieve stoffen bij het transport over de weg*, Publicatiereeks stralenbescherming nr. 1991/52, Directoraat-Generaal Milieubeheer, september 1991.

- [18] Fett H.J., Lange F.: *Frequency of Railway Accidents in the German Federal Railways (Deutsche Bundesbahn DB) Network: Goods Traffic and Shunting Operations (Marshalling Yard Braunschweig)*, GRS-85, January 1992.
- [19] *Transport van bestraalde splijstoffen*, Advies van de Gezondheidsraad aan de Minister van VROM, nr. 1999/22, Den Haag, 2 december 1999.
- [20] Shaw K.B. et al.: *The radiological impact of postulated accidental releases during transportation of irradiated PWR fuel through Greater London area*, NRPB-R147, 1983.

