

RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEU
BILTHOVEN
TNO MILIEU, ENERGIE EN PROCESINNOVATIE
TNO PREVENTIE EN GEZONDHEID
TNO VOEDING

RIVM-rapport nr. 610127001

TNO-rapport nr. R96/132

**Cumulatie van milieurisico's voor de mens:
geografische verschillen in Nederland**

M.J.M. Pruppers (ed.), K.D. van den Hout, B.J.M. Ale,
E. Buringh en H.M.E. Miedema

juli 1996

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht en ten laste van het Ministerie van
Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu, Directoraat Generaal Milieubeheer,
Directie Stoffen, Veiligheid en Straling door RIVM (projectnummer 610127) en TNO.

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Postbus 1, 3720 BA Bilthoven
Tel. 030-2749111, fax 030-2742971

VERZENDLIJST

1-150	Directeur van de Directie Stoffen, Veiligheid en Straling
151	Plaatsvervangend Directeur-Generaal Milieubeheer
152-161	Leden van de begeleidingscommissie
162	Depot van Nederlandse publikaties en Nederlandse bibliografie
163	Directie RIVM
164	Directeur Milieu RIVM
165	Hoofd Voorlichting en Public Relations
166	Directeur Sector Stoffen en Risico's
167	Directeur Sector Milieuonderzoek
168	Hoofd van het Laboratorium voor Stralingsonderzoek
169	Hoofd van het Adviescentrum Toxicologie
170	Hoofd van het Laboratorium voor Effectenonderzoek
171	Hoofd van het Laboratorium voor Luchtonderzoek
172	Hoofd van het Laboratorium voor Afvalstoffen en Emissies
173	Hoofd van het Centrum voor Chronische ziekten en Milieu-epidemiologie
174	Hoofd van het Centrum voor Informatie Infrastructuur Milieu
175-195	Auteurs
196-197	Bibliotheek RIVM
198	Bureau projectenregistratie
199-220	Reserve-exemplaren LSO
221-280	Reserve-exemplaren TNO
281-300	Bureau Rapportenbeheer

VOORWOORD

Dit rapport is het resultaat van een samenwerking tussen diverse organisatieonderdelen van RIVM en TNO. De volgende personen hebben substantiële bijdragen geleverd aan het bijeen brengen van de methoden, de benodigde gegevens en de uiteindelijke kaarten (in alfabetische volgorde): M.E. van Apeldoorn, C.J. Bartels, R.O. Blaauboer, A. van Beurden, A.A. Bouwman, V. Feron, W.H.B. Hoondert, A.E.M. de Hollander, M.P.M. Janssen, W.C. Mennes, R.M.J. Pennders, H. Slaper, B.A.M. Staatsen, K. van Velze, E.D.G. Zandvoort en P.Y.J. Zandveld.

Als contactpersoon voor de opdrachtgever DGM/SVS fungeerde D.W.G. Jung. Tevens onderhield deze alle contacten tussen de uitvoerders RIVM en TNO en de diverse afzonderlijke beleidsdirecties van DGM.

De volgende personen hadden zitting in de door de opdrachtgever ingestelde begeleidingscommissie: H. Aiking, M. van den Berg, G. van 't Bosch, H. van Halem, J. Hulshof, K. Krijgheld, M. Oortgiessen, M. Philippens, A. Sedee en J.P. Tijssen.

INHOUDSOPGAVE

VERZENDLIJST	2
VOORWOORD	2
SUMMARY	5
SAMENVATTING	6
 1	
INLEIDING	7
1.1 Het project Cumulatie milieurisico's	7
1.2 Aanleiding, doel en vraagstelling	7
1.3 Werkwijze	8
 2	
CUMULATIE VAN RISICO'S	10
2.1 De risicobenadering in het milieubeleid	10
2.2 Afbakening van het onderzoek	11
2.3 Definities en aannamen	12
2.4 Wat wel en wat niet sommeren?	15
 3	
STERFTE EN EXTERNE VEILIGHEID	17
3.1 Inleiding	17
3.2 Methoden en aannamen	18
3.3 Risicokaarten	19
 4	
STERFTE ALS GEVOLG VAN STRALING EN STOFFEN	21
4.1 Inleiding	21
4.2 Methoden en aannamen	21
4.2.1 <i>Straling</i>	21
4.2.2 <i>Stoffen</i>	22
4.3 Risicokaarten	22
4.3.1 <i>Basisrisico straling</i>	22
4.3.2 <i>Straling</i>	25
4.3.3 <i>Stoffen</i>	27
4.3.4 <i>Somkaart sterfte als gevolg van straling en stoffen</i>	28
 5	
OVERIGE GEZONDHEIDSEFFECTEN VAN STOFFEN	29
5.1 Inleiding	29
5.2 Methoden en aannamen	29
5.2.1 <i>Algemeen</i>	29
5.2.2 <i>Berekening van de concentraties</i>	30
5.2.3 <i>Berekening van het risico</i>	30
5.3 Risicokaarten	32
5.3.1 <i>Algemeen</i>	32
5.3.2 <i>Kaarten per stof</i>	33
5.3.3 <i>Somkaart overige gezondheidseffecten van stoffen</i>	34

6	HINDER ALS GEVOLG VAN GELUID EN GEUR	35
6.1	Inleiding	35
6.2	Methoden en aannamen	35
6.3	Risicokaarten	36
6.3.1	<i>Algemeen</i>	36
6.3.2	<i>Bedrijven</i>	37
6.3.3	<i>Wegverkeer</i>	37
6.3.4	<i>Railverkeer</i>	37
6.3.5	<i>Vliegverkeer</i>	37
6.3.6	<i>Somkaart geluid</i>	38
7	TOTAALBEELD, DISCUSSIE EN CONCLUSIES	39
7.1	Inleiding: cumuleren van milieurisico's	39
7.2	Gebruikte methoden	39
7.3	Somkaarten voor sterfte, overige gezondheidseffecten en hinder	41
7.4	Kritische kanttekeningen bij gegevens, methoden en resultaten	43
7.5	Conclusies en aanbevelingen	44
	REFERENTIES	47
	BIJLAGE RISICOKAARTEN	51

SUMMARY

The question whether there are correlations between observed geographical differences in human health and risks due to several types of environmental contamination led to the project 'Accumulation of environmental risks'. The project aimed, firstly, at developing methods to illustrate these geographical differences and, secondly, at applying these methods.

The making of risk maps requires knowledge on sources of environmental contamination, emissions of several contaminants from these sources, dispersion of the contaminant after emission, exposure of humans to the contaminant and, finally, induction of effects on human health. Subjects investigated were the definition of risk that is used in Dutch environmental policy, the combination of very different effects and the making of nationwide maps using grids of 500 by 500 m or even 100 by 100 m.

The methods are applied to map the risks due to possible severe accidents (external safety), radioactive substances and radiation, substances in air, and environmental noise. Due to practical limitations not all of the relevant sources, substances and exposure pathways could be included. Also, during the investigation it had to be concluded that in the case of several categories of sources or substances, insufficient data or knowledge were available to make a risk map.

The investigation resulted in two reports. The current main report contains a general description of the methods applied and the maps created. The accompanying background document focuses on the details of the methods and on the data used.

In spite of the complexity of the discussions on risk-related subjects, it appears that by applying the methods developed insight has been obtained into the geographical distribution and the proportions of risks. These methods are based on the risk concept which is implemented in the environmental policy in the Netherlands. The geographical distribution of risks differs greatly between external safety and noise on the one hand and radiation and substances on the other hand. The maps for external safety and noise show high risks on a local scale; there are areas where risk for these two categories is equal to zero (areas without sources of danger or disturbing noise). Spatial coincidence of external safety risks rarely occurs. Especially for noise the areas of zero risk are smaller than those shown by the maps because the lack of information made a significant part of the risk incalculable. Spatial coincidence of environmental noise occurs mainly near junctions of transport lines and near (large) airports. The risks due to radiation and substances, on the contrary, cover large parts of the Netherlands, with local increases near large (industrial) sources. Peaks in risks on scales less than 500 or 100 m, e.g. near road traffic, are not visible on the maps.

SAMENVATTING

De aanleiding voor het project 'Cumulatie van milieurisico's' was de vraag of er relaties bestaan tussen geconstateerde geografische verschillen in gezondheid van mensen en geografische verschillen in risico's als gevolg van diverse typen milieuverontreinigingen. Het project beoogde eerst het ontwikkelen van methoden om deze geografische verschillen in risico's in kaart te brengen en vervolgens het toepassen van deze methoden.

Het maken van risicokaarten vergt het verzamelen van gegevens over bronnen van milieuverontreinigingen, emissies van diverse typen agentia door deze bronnen, verspreiding van het agens volgend op deze emissies, blootstelling van mensen aan het agens, en tenslotte de inductie van effecten op de menselijke gezondheid. Zaken die nader zijn onderzocht betreffen het begrip **risico** dat wordt gebruikt in het Nederlandse milieubeleid, het combineren van ongelijksoortige effecten en het maken van landelijke kaarten op een schaal van 500 bij 500 m of 100 bij 100 m.

De methoden zijn toegepast voor de volgende agentia: mogelijke grote ongevallen (externe veiligheid), radioactieve stoffen en straling, luchtverontreinigende stoffen en geluid. Om praktische redenen konden niet alle relevante bronnen, stoffen en belastingspaden in kaart worden gebracht. Noodgedwongen moest ook lopende het onderzoek de conclusie worden getrokken dat voor sommige broncategorieën of stoffen onvoldoende gegevens of kennis voorhanden was om een risicokaart te kunnen maken.

Het onderzoek heeft geleid tot twee rapporten. Het voorliggende hoofdrapport bevat een algemene beschrijving van de gevolgde methoden en de geproduceerde kaarten. Het bijbehorende achtergronddocument gaat nader in op de details van de gevolgde methoden en de gebruikte gegevens.

Ondanks de complexiteit van de discussies rond de risico-problematiek is gebleken dat met de ontwikkelde methoden op basis van het risico-concept dat in het Nederlandse milieubeleid wordt gehanteerd, inzicht is verkregen in de geografische verdeling en de onderlinge verhoudingen van risico's. De geografische verdeling van de risico's verschilt sterk tussen enerzijds externe veiligheid en geluid en anderzijds straling en stoffen. De kaarten voor externe veiligheid en geluid tonen zeer lokaal hoge risico's; daarnaast zijn er gebieden waar het risico voor deze twee categorieën gelijk is aan nul, namelijk die gebieden waar zich geen gevaren- en/of geluidsbronnen bevinden. Vooral voor geluid is het werkelijke 'schone' gebied veel beperkter dan de hier opgenomen kaarten tonen, omdat bij gebrek aan informatie een significant deel van de belasting niet kon worden berekend. Ruimtelijk samenvallen van de externe-veiligheidsrisico's treedt nauwelijks op. Voor geluid treedt ruimtelijk samenvallen vooral op nabij knooppunten van transportwegen en nabij (grote) vliegvelden. De risico's als gevolg van straling en stoffen daarentegen strekken zich uit over grote delen van Nederland, met lokaal verhogingen rond grote (industriële) bronnen. Risicopieken op een schaal kleiner dan 500 of 100 m, bijvoorbeeld nabij wegverkeer, zijn niet zichtbaar op de kaarten.

1 INLEIDING

1.1 Het project Cumulatie milieurisico's

In het milieubeleid van de Nederlandse overheid vormt de risicobenadering de grondslag voor het effectgericht beleid. De risicobenadering is enerzijds de maatlat om de nadelige effecten van milieubelasting te kunnen vaststellen (risicoanalyse = berekenen van risico's) en anderzijds een instrument voor toetsing aan risicogrenzen (normstelling = beoordelen van risico's). In de notitie Omgaan met Risico's (OMR) is de risicobenadering in het Nederlandse milieubeleid beschreven en in notities en Tweede Kamer-stukken nader uitgewerkt [OMR89]. De risicobenadering biedt in theorie de mogelijkheid om milieurisico's in samenhang te beschouwen. Om dit mogelijk te maken is inzicht nodig in enerzijds de hoogte van de diverse risico's en anderzijds de geografische verdeling van de risico's, zowel afzonderlijk als gecumuleerd.

Het totale project Cumulatie van milieurisico's is gestart in 1993 en is opgedeeld in drie fasen: (1) de probleemanalyse of definitiestudie, (2) het eigenlijke risico-onderzoek, en (3) het relateren van gecumuleerde gezondheidsrisico's aan geconstateerde gezondheidsverschillen. De directie Stoffen, Veiligheid en Straling van DGM is opdrachtgever voor het project. In het kader van fase 1 is onderzoek uitgevoerd door het Instituut voor Milieuvraagstukken van de Vrije Universiteit [La93] en door diverse organisatie-onderdelen van TNO [We94, Mi94]. Aan het einde van fase 1 is ondermeer geconcludeerd dat het onderzoek gericht zou moeten zijn op bronnen en emissies [Mi94]. Tevens werd aangegeven dat locatie-gebonden milieubelastingen, zoals geur, geluid, (prioritaire) luchtverontreiniging, straling en externe veiligheid, beschouwd zouden moeten worden. Het voorliggende rapport is het resultaat van fase 2 van het project: het eigenlijke risico-onderzoek dat is uitgevoerd in samenwerking tussen diverse onderdelen van RIVM en TNO. Een vergelijking van de berekende gezondheidsrisico's met de geconstateerde gezondheidsverschillen is geen onderwerp van het voorliggende rapport.

1.2 Aanleiding, doel en vraagstelling

De aanleiding voor het totale project wordt gevormd door ondermeer de volgende vragen. Zijn er gebieden in Nederland aan te wijzen waar blootstelling van de mens aan diverse milieuverontreinigingen samenvalt? Zijn er relaties te leggen tussen de hoogte van de gecumuleerde (samenvallende) verontreinigingen met verschillen in geconstateerde gezondheid van de mens in die gebieden?

Voor fase 2 van het project Cumulatie milieurisico's luidt de centrale vraagstelling: 'Hoe kunnen diverse typen risico's worden gesommeerd?' en 'Hoe zijn de afzonderlijke en gecumuleerde (samenvallende) risico's over Nederland verdeeld?'. Het doel van fase 2 van het project Cumulatie milieurisico's is dus het zichtbaar maken van die (geografische) locaties waar cumulatie (het samenvallen) van humane milieurisico's plaatsvindt als gevolg van diverse agentia die door menselijk handelen in het milieu zijn gebracht.

Om het samenvallen van risico's in kaart te kunnen brengen en om risico's berekenbaar te maken is in eerste instantie een aantal methodische maar ook beleidsmatige keuzen en vereenvoudigingen noodzakelijk gebleken. Uitgangspunt bij het maken van die keuzen vormt de risico-definitie in het Nederlandse milieubeleid. Het onderzoek beperkt zich voor het

'object' mens tot de eindpunten ('effecten') sterfte, overige gezondheidseffecten en hinder als gevolg van de 'agentia' stoffen, straling, grote ongevallen (externe veiligheid), geluid en geur.

1.3 Werkwijze

De uitvoering van fase 2 van het project is gesplitst in twee onderdelen. Tijdens het eerste onderdeel, de methoden-discussie, zijn uitgangspunten, aannamen en keuzen vastgesteld en vastgelegd in een beslisdocument. Concepten van het beslisdocument zijn diverse malen voor commentaar voorgelegd aan de opdrachtgever en de begeleidingscommissie. Tijdens het tweede onderdeel zijn de landelijke kaarten vervaardigd en zijn het voorliggende eindrapport en het achtergronddocument opgesteld. Concepten van deze beide documenten zijn eveneens voorgelegd aan opdrachtgever en begeleidingscommissie.

Daar een uitgebreid veld van disciplines in het project moest worden verenigd zijn de werkzaamheden tijdens de methodendiscussie verdeeld over vijf taakgroepen, die ieder een afgebakend onderdeel voor hun rekening hebben genomen: taakgroep geluid en geur, taakgroep straling en externe veiligheid, taakgroep stoffen - verspreiding, taakgroep stoffen - effecten en taakgroep integratie en kaartproductie. Daarnaast had een kerngroep, bestaande uit de leiders van de andere taakgroepen, tot taak de bijdragen van deze taakgroepen te combineren en op elkaar af te stemmen.

Het resultaat van het project bestaat uit het voorliggende rapport met de uiteindelijke kaarten en de onderliggende informatie op een hoog aggregatieniveau. In het achtergronddocument bij dit rapport zijn de onderliggende gegevens in meer detail opgenomen. De procedures die bij het produceren van de kaarten zijn gevolgd, zijn gaande het proces vastgelegd (in de interne projectdocumentatie) met het oog op het in de toekomst op vergelijkbare wijze produceren van nieuwe kaarten en re-produceren van oude kaarten.

Hoofdstuk 2 gaat nader in op de belangrijkste problemen die een rol spelen bij het beschrijven van het cumuleren van risico's. De resultaten van de kaartproductie komen aan de orde in de hoofdstukken 3 tot en met 6 voor achtereenvolgens de humane effecten sterfte, overige gezondheidseffecten en hinder. Tabel 1, die een overzicht bevat van alle kaarten en bijbehorende paragrafen in de tekst, dient als leeswijzer. Het rapport eindigt met een schets van het totaalbeeld, een discussie en de conclusies.

Tabel 1 Overzicht van in kaart gebrachte agentia, effecten, bronnen en stoffen met verwijzingen naar kaartnummer en paragraaf.

agens	effect	bron / stof	kaartnummer	paragraaf
externe veiligheid	sterfte	somkaart EVR-plichtige bedrijven, rangeer-emplacementen, hoge-druk-aardgaspijpleidingen en Schiphol	I-1 en I-2	3.3
		kaart Rijnmond externe veiligheid	VII-1	7.3
straling	sterfte	nucleaire installaties - mogelijke ongevallen	II-1	4.3.2
		nucleaire installaties (excl. mogelijke ongevallen)	II-2	4.3.2
		niet-nucleaire industrie - luchtlozingen	II-3	4.3.2
		somkaart straling	II-4	4.3.2
		kaart Rijnmond sterfte straling	VII-3	7.3
stoffen	sterfte	benzo(a)pyreen - binnenland / buitenland	III-1	4.3.3
		benzeen - binnenland / buitenland	III-2	4.3.3
		ethyleenoxyde - binnenland / buitenland	III-3	4.3.3
		vinylchloride - binnenland / buitenland	III-4	4.3.3
		1,2-dichloorethaan - binnenland / buitenland	III-5	4.3.3
		acrylonitril - binnenland / buitenland	III-6	4.3.3
		somkaart sterfte stoffen	III-7	4.3.3
		kaart Rijnmond sterfte stoffen	VII-4	7.3
		totaalkaart sterfte straling en stoffen	VI-1 en VI-2	4.3.3
stoffen	overige effecten	ozon	IV-1	5.3.2
		NO2 (concentratiekaart)	IV-2	5.3.2
geluid	hinder	bedrijven	V-1	6.3.2
		wegverkeer	V-2	6.3.2
		railverkeer	V-3	6.3.2
		vliegverkeer	V-4	6.3.2
		somkaart geluid	V-5	6.3.2
		kaart Rijnmond hinder geluid	VII-2	7.3

2 CUMULATIE VAN RISICO'S

2.1 De risicobenadering in het milieubeleid

Menselijk handelen heeft naast gewenste ook ongewenste effecten. Deze ongewenste effecten kunnen direct optreden, maar soms is een ongewenst effect niet zeker en treedt het niet onmiddellijk of misschien wel helemaal niet op. Hoe in het milieubeleid met dit soort risico's wordt omgegaan is uitgebreid beschreven in de notitie Omgaan met Risico's [OMR89], welke gelijktijdig is gepubliceerd met het Nationaal Milieubeleidsplan. In het milieubeleid wordt gestreefd naar een duurzame ontwikkeling waarbij mensen, dieren, planten, ecosystemen en goederen worden beschermd. Het risicobeleid vormt één van de uitgangspunten van het Nederlandse milieubeleid. Voor de concretisering kent het milieubeleid twee sporen, het brongerichte en het effectgerichte spoor.

In de notitie Omgaan met Risico's (OMR) zijn twee complementaire componenten van het risicobeleid beschreven. In de eerste plaats de wijze waarop de risico's van nadelige effecten objectief kunnen worden vastgesteld en welke maatvoering daarbij wordt gebruikt. In de tweede plaats de wijze waarop deze risico's in de besluitvorming worden gewogen in het licht van eventuele andere in het geding zijnde belangen. Met andere woorden, het 'omgaan met risico's' valt uiteen in twee achtereenvolgende stappen: het *berekenen van risico's* en het *beoordelen van risico's*.

OMR hanteert de volgende definitie voor het begrip risico. '... Onder het begrip **risico** wordt verstaan ongewenste gevolgen van een bepaalde activiteit verbonden met de kans dat deze zich zullen voordoen ...'.

Het risicobeleid richt zich op combinaties van 'objecten', 'effecten' en 'agentia' [OMR89]. De te beschermen 'objecten' zijn mensen, planten, dieren en ecosystemen, milieufuncties en goederen. De 'effecten' die in het risicobeleid in ogenschouw worden genomen zijn (1) effecten op de gezondheid: dood, ziekte, hinder (voor de mens op individueel niveau en voor ecosystemen op het niveau van populaties van planten en dieren), (2) effecten uitgedrukt in geld: verlies van milieufuncties, corrosie, ruimtebeslag, en (3) effecten op welzijn en andere effecten die (nog) niet in monetaire termen kunnen worden vertaald zoals de afname van waardering van het landschap door vermindering van variatie. De 'agentia' zijn de oorzaken van de verontreiniging. In het Nederlandse milieubeleid worden de volgende agentia onderscheiden: stoffen, straling, grote ongevallen, geluid, stank en genetisch gemodificeerde organismen.

In 1995 is er een advies verschenen van de commissie Risicomaten en risicobeoordeling van de Gezondheidsraad over de risicobenadering in het milieubeleid [GR95a]. De commissie plaatst daarin kanttekeningen bij de grondslag van deze risicobenadering. Zij waarschuwt vooral tegen al te sterke vereenvoudigingen, die mogelijk tot maatschappelijk omstreden of ongewenste beslissingen leidt. De voorzitter van de Gezondheidsraad acht het daarom wenselijk dat de vereenvoudigingen en hun mogelijke consequenties zoveel mogelijk inzichtelijk worden gemaakt. Het vervolg op dit advies uit 1995 is verschenen in maart 1996 [GR96]. Daarin wordt geconcludeerd dat een benadering die is toegesneden op de aard van een risicovraagstuk, leidt tot een doeltreffend en doelmatig omgaan met risico's. De commissie doet een aantal aanbevelingen voor het verder ontwikkelen van het milieurisicobeleid van de Nederlandse overheid. De commissie bepleit ondermeer een 'omgaan met risico's' volgens een proces van

enerzijds risicobepaling (= berekenen van risico's) en anderzijds risicobeheersing (= beoordelen van risico's), waarbij ook tijdens de risicobepaling overleg tussen risicobeheerser en risicobepaler noodzakelijk wordt geacht.

2.2 Afbakening van het onderzoek

In het project Cumulatie milieurisico's is het onderzoek beperkt tot alleen het berekenen van risico's. Het beoordelen van risico's en het toetsen van de berekende risico's aan door beleid en politiek vastgestelde niveaus die bijvoorbeeld maximaal toelaatbaar worden geacht, vallen buiten het onderzoek. Eén van de uitgangspunten in het project was dat aan reeds vastgestelde richtlijnen voor risicoberekeningen op onderdelen van het aandachtsgebied niet mag worden getornd. Voor de methodes en de consequenties van het optellen van risico's is overigens nog nauwelijks beleid vastgesteld (met uitzondering van het beleid voor straling en externe veiligheid).

Blootgestelde personen vormen zichzelf vaak ook een beeld van het gevaar dat zij lopen als gevolg van straling, externe veiligheid, stoffen, geluid en geur. Deze risicoperceptie blijft eveneens buiten beschouwing.

In de definitie van het begrip risico in OMR is er sprake van een 'activiteit' en de daarmee verbonden 'ongewenste gevolgen'. Deze begrippen vereisen hier een nadere detaillering en afbakening.

Het onderzoek richt zich op milieurisico's die *door menselijk handelen* zijn *toegevoegd* aan de al aanwezige (natuurlijke) risico's én die binnen het kader van het milieubeleid kunnen worden beïnvloed. Niet aan de orde zijn derhalve natuurlijke risico's door bijvoorbeeld kosmische straling of als gevolg van stoffen voor zover deze van natuurlijke oorsprong zijn. Verder komen niet aan de orde de vrijwillig genomen risico's, als gevolg van bijvoorbeeld bergvakanties, roken en vliegreizen, de risico's van verkeersongevallen en ongevallen binnenshuis en de risico's ten gevolge van arbeidsomstandigheden en medisch handelen. Dergelijke risico's worden niet tot de milieurisico's gerekend.

Sommige stoffen in het milieu zijn, behalve door menselijk handelen toegevoegd, deels ook van nature aanwezig (bijvoorbeeld ozon, fijn stof en radon). Radon is van natuurlijke oorsprong, maar wordt door menselijk handelen geconcentreerd. Bovendien is vaak slecht bekend welk deel natuurlijk en welk deel door menselijk handelen is toegevoegd. Voor stoffen is (indien mogelijk) de bijdrage door menselijk handelen in kaart gebracht en er is waar mogelijk onderscheid gemaakt tussen bijdragen uit binnenlandse en buitenlandse bronnen.

Risico's als gevolg van menselijk handelen binnenshuis (afvoerloze geisers, radon uit bouwmaterialen, water uit loden drinkwaterleidingen, allergenen en huisstofmijt, burenlawaai etc.) zijn niet in kaart gebracht. In een enkel geval is wel een 'orde van grootte schatting' gegeven.

Alleen effecten op de mens zijn beschouwd. Het risico is uitgedrukt in de kans dat bepaalde negatieve effecten op de gezondheid van de mens zich zullen voordoen verbonden met de ernst en de aard van die effecten. Er worden drie soorten effecten onderscheiden, te weten sterfte, hinder en overige gezondheidseffecten.

Voor straling en externe veiligheid is alleen het effect sterfte beschouwd. Uitgangspunt van het beleid is dat alle effecten van straling, te weten ziekte door kanker, overlijden als gevolg van kanker, gezondheidsschade aan het ongeboren kind en andere erfelijke effecten, als even ernstig worden beschouwd [ORS90]. Verder wordt voor straling gesteld dat sterfte door kanker het meeste voorkomt [ORS90]. Door voor sterfte een risicogrens vast te stellen, wordt in het beleid ervan uitgegaan dat er tevens tegen de andere drie effecten afdoende wordt beschermd [ORS90]. Voor externe veiligheid vermeldt OMR dat '... in de hoogte van de normering er rekening mee is gehouden dat bij een ongeval waarbij dodelijke slachtoffers vallen ook gewonden zullen voorkomen ...'. Andere effecten dan sterfte blijven buiten beschouwing omdat er vaak geen eenduidige relatie is tussen de kans op overlijden en andere gezondheidseffecten. Er bestaat een algemene notie dat bij ongevallen per dode gemiddeld tien gewonden worden geteld [Ra92]. De keuze voor 'alleen sterfte' betekent dat de kans op gewonden voor externe veiligheid en de kans op ziekte door kanker als gevolg van straling niet in kaart zijn gebracht.

Voor stoffen is er onderscheid gemaakt tussen de kans op sterfte en de kans op overige gezondheidseffecten ('ziekte').

Hinder op een bepaalde plek is beschreven aan de hand van de kans dat een bepaald hinderniveau wordt overschreden, dat wil zeggen de kans dat een volwassene die daar woont hinder rapporteert als de geluidssituatie moet worden beoordeeld. Afhankelijk van de keuze van het grensniveau is deze kans aan te duiden als de kans op minstens enige hinder, de kans op hinder of de kans op ernstige hinder. In dit onderzoek wordt alleen de kans op hinder in kaart gebracht.

2.3 Definities en aannamen

In de definitie van het risico gaat het om de ongewenste gevolgen van een bepaalde activiteit verbonden met de kans dat deze zich zullen voordoen. De activiteit is de oorzaak van een proces dat aan het einde leidt tot een ongewenst gevolg. Dat proces, van bron tot en met effect, is opgebouwd uit een aantal causaal verbonden stappen, die elk een bepaalde kans op optreden hebben. De kans dat een gevolg zich zal voordoen is dus opgebouwd uit een reeks van afzonderlijke kansen. Voor bijvoorbeeld een toxische stof zijn dit achtereenvolgens de kans op emissie, de locatiegebonden kans op een zekere concentratie van de stof, de kans op blootstelling van een mens aan de stof en tenslotte de kans op een effect (met omschreven ernst) als gevolg van de blootstelling.

De individuele mens beweegt zich, elk op eigen wijze, door ruimte en tijd. Elk individu gedraagt zich daarbij uniek. Wonen en werken vinden bijvoorbeeld over het algemeen niet op dezelfde locatie plaats. Hoewel het milieubeleid zich richt op de bescherming van de individuele mens is het in de praktijk onmogelijk rekening te houden met eigenschappen, gedrag en (variërende) omgeving van elk individu afzonderlijk. Het risico moet worden berekend voor een nog te definiëren type mens. Enkele mogelijkheden zijn: de mens uit een referentiegroep (een groep mensen met vooraf wel omschreven eigenschappen), de gemiddelde mens (met over de Nederlandse bevolking gemiddelde eigenschappen) en de standaard mens. De standaard mens is in het project Cumulatie milieurisico's als (een nu nog niet bereikbaar) 'ideaal' geïntroduceerd en heeft, in tegenstelling tot de gemiddelde mens, gedistribueerde eigenschappen. Hoewel het hanteren van eenzelfde 'mens' als ontvanger van de risico's essentieel is voor de vergelijkbaarheid van de risicokaarten, is hier voor een praktische aanpak

gekozen: de voor het betreffende agens gebruikelijke aannamen zijn gehanteerd. Wel is een zo'n volledig mogelijke beschrijving van de verschillen nagestreefd.

Risico's kunnen worden beschouwd vanuit ieder blootgesteld individu afzonderlijk, maar ook vanuit de maatschappij of een blootgestelde groep. Zo is in het externe-veiligheidsbeleid de kans van belang dat een ongeluk plaatsvindt, waarbij een groot aantal slachtoffers tegelijkertijd valt. Dit zijn aspecten die zich niet eenvoudig in kaartbeelden laten vertalen. Deze aspecten, en dus de begrippen groepsrisico en collectief risico (= risico, gesommeerd over alle individuen), zijn derhalve in het onderzoek buiten beschouwing gebleven.

De risicokaarten zijn uitgevoerd als rasterkaarten. Dit zijn kaarten waarop voor elk kaartvierkant van een bepaalde (vaste) grootte de waarde van een grootte wordt weergegeven. Het risico (voor een bepaald 'gevolg') in één kaartvierkant van de uiteindelijke risicokaart is uitgedrukt in de kans per jaar dat een mens het gevolg ondervindt als deze zich continu in het kaartvierkant bevindt (en wordt blootgesteld aan de concentratie of het niveau *gemiddeld* over het gehele kaartvierkant).

In het onderzoek staan vooral de geografische verschillen in de risico's centraal. Er zijn echter risico's die over Nederland niet of nauwelijks variëren of waarvan slechts een schatting voor totaal Nederland is te maken omdat er onvoldoende gegevens over de geografische spreiding beschikbaar zijn. In beide gevallen worden deze risico's gerekend tot het zogenaamde *basisrisico*. Met het basisrisico wordt dus niet het risico bedoeld dat kan worden toegekend aan de achtergrondbelasting door bijvoorbeeld stoffen die van natuurlijke oorsprong zijn of kosmische straling. Voor externe veiligheid en geluid is er geen sprake van een basisrisico omdat deze agentia een beperkte reikwijdte hebben; het basisrisico blijkt vooral van toepassing voor straling (zie paragraaf 4.3.1).

In het voorgaande is reeds vermeld dat het proces, dat aan het einde leidt tot een ongewenst gevolg, is opgebouwd uit causaal verbonden stappen, die elk een bepaalde kans op optreden hebben. In figuur 1 is een overzicht gegeven van de opeenvolgende processen en grootheden, met bijbehorende eenheden. Getracht is deze voorstelling geschikt te maken voor alle beschouwde agentia. De risico's als gevolg van de diverse agentia zijn uitgedrukt in

- de kans op acute sterfte per jaar (per bron) als gevolg van mogelijke ongevallen met die bron in dat jaar (externe veiligheid),
- de kans op sterfte per jaar (per bron) als gevolg van blootstelling aan straling rechtstreeks afkomstig van de bron zelf en afkomstig van door de bron geëmitteerde radioactieve stoffen (straling),
- de kans op sterfte per jaar (per stof) als gevolg van alle bronnen tezamen (stoffen die tot sterfte leiden),
- de gemiddelde (over de tijd) te verwachten fractie van de individuen in het kaartvierkant dat het afzonderlijke effect vertoont als gevolg van alle bronnen tezamen (stoffen die leiden tot overige effecten, dat wil zeggen anders dan sterfte), en tot slot
- de voor een receptorpunt in een kaartvierkant van 100 bij 100 m berekende kans op hinder als gevolg van geluid afkomstig van alle bronnen in een bepaalde categorie (geluid).

Bij de selectie van de in kaart te brengen bronnen is het volgende drie-traps-beslissysteem toegepast. Allereerst is geïnventariseerd welke bronnen het betreffende agens (of in sommige gevallen de *precursor* ervan, dat wil zeggen een stof die tussen bron en mens in de beschouwde

stof wordt omgezet) produceren. Vervolgens is onderzocht welke van deze bronnen belangrijk bijdragen aan het totale risico, rekening houdend met het feit of deze bronnen (of categorieën van bronnen) wel of niet onderwerp zijn van het Nederlandse milieubeleid. Tot slot is overwogen of er voldoende geografisch specifieke gegevens van deze relevante bronnen beschikbaar zijn om de risico's in kaart te kunnen brengen. In de hiernavolgende hoofdstukken en vooral in het achtergronddocument is uitgebreid beschreven welke bronnen zijn beschouwd. Ook is per kaart aangegeven welke databestanden zijn gebruikt en welke extra bewerkingen deze hebben ondergaan. Voor de selectie van de beschouwde stoffen is eveneens het drie-traps-beslissysteem gehanteerd (zie paragraaf 5.1).

Als peiljaar voor de risicokaarten is in principe het jaar 1992 gekozen. Als er gegevens voor het peiljaar ontbreken, dan is er gebruik gemaakt van de meest recente gegevens van vóór 1992. Per geval is zonodig aangegeven wat de mogelijke verschillen zijn tussen het peiljaar en het jaar waarvoor de meest recente gegevens beschikbaar zijn. Voor agentia waarvoor 1992 een extreem jaar was, is dit per geval aangegeven.

Voor straling afkomstig van een toestel of apparaat dat straling uitzendt, voor externe veiligheid van een industriële activiteit, en voor geluid en geur volgt de belasting van de mens qua tijd (vrijwel) direct op de emissie die het gevolg is van de activiteit. Het risico van deze activiteit wordt daarom toegekend aan het jaar van emissie. Voor blootstelling aan stoffen in lucht kan worden verondersteld dat deze plaatsvindt in het jaar van emissie. Het risico, uitgedrukt in kans per jaar op het effect, wordt toegerekend aan het jaar van emissie, ook al treden de effecten pas ver na het jaar van blootstelling op.

	PROCES	GROOTHEID	EENHEID
BRON			
▼	emissie	bronsterkte	kg.s^{-1} , Bq.s^{-1}
▼		geïntegreerde bronsterkte	kg, Bq
▼	verspreiding & transmissie	(momentaan niveau)	
▼		concentratie	kg.m^{-3} , Bq.m^{-2}
▼		stralingsniveau	Sv.h^{-1}
▼		A-gewogen geluidniveau	dB(A)
▼		geurconcentratie	ge.m^{-3}
▼	blootstelling & opname in het lichaam	dosis	kg.d^{-1} , Sv
▼		etmaalwaarde	dB(A)
▼	effect-inductie	sterftefrequentie	a^{-1}
▼		effect-frequentie	a^{-1}
▼		kans op hinder	-
MENS			

Figuur 1 Schematische voorstelling van de bron-risico-keten voor alle beschouwde agentia: straling, externe veiligheid, stoffen, geluid en geur (ge = geur-eenheden).

De grootte van het kaartvierkant hangt enerzijds af van de aard van het behandelde milieuprobleem en anderzijds van de beschikbaarheid van de benodigde gegevens. Het kaartvierkant moet kleiner zijn dan (of hooguit in de orde van) een voor het probleem karakteristieke afstand. Het heeft geen zin een kaartvierkant van 10 bij 10 m te gebruiken als de concentratie van een stof nauwelijks varieert over een afstand van 10 km. Voor emissies van bijvoorbeeld autoverkeer is een kaartvierkant van 10 bij 10 m zinvol. Rekenen met een kaartvierkant van 10 bij 10 km aan een probleem dat zeer lokaal optreedt ('over een afstand van 100 m drie orden van grootte afneemt') doet geen recht aan het probleem. De grootte van het kaartvierkant is een compromis tussen wat wenselijk is en wat praktisch nog mogelijk is. Er is gekozen voor een kaartvierkant van 500 bij 500 m voor alle agentia met uitzondering van externe veiligheid en geluid. Voor deze laatste twee bleek 100 bij 100 m mogelijk; voor stoffen was dit niet praktisch haalbaar.

Ook voor gebieden waar geen mensen wonen, of gebieden waar nooit mensen zullen of mogen wonen, zijn de risico's berekend (multifunctionaliteit: elk gebied moet in principe voor elke functie te gebruiken zijn). Het risico is berekend voor elk kaartvierkant in Nederland, met uitzondering van grote wateren zoals de Noordzee (incl. mondingen van grote rivieren) en het IJsselmeer.

2.4 Wat wel en wat niet sommeren?

Voor één stof en één bijbehorend gezondheidseffect is het in principe mogelijk een kaart te maken van het risico (uitgedrukt als kans op dat gezondheidseffect als gevolg van die stof). Uiteraard mits er voldoende gegevens beschikbaar zijn, zoals de concentratieverdeling in ruimte en tijd, de blootstelling en een bruikbare concentratie-respons/effect-relatie. Uiteindelijk is er dan een groot aantal kaarten beschikbaar voor alle gekozen stoffen en bijbehorende gezondheidseffecten. Indien, zoals bij straling, alle effecten als even ernstig worden beschouwd, is het mogelijk al deze kaarten te sommeren tot één kaart. Een andere mogelijkheid is dat de ernst van de effecten wordt meegewogen in de optelling. Echter, er bestaan géén geaccepteerde wegingsfactoren voor ziekten. Een commissie van de Gezondheidsraad (de Beraadsgroep Omgevingsfactoren en Gezondheid) acht '... het niet mogelijk één index te construeren voor stoffen met toxische niet-carcinogene effecten, gezien de grote verschillen in de aard van de effecten. Slechts een gecombineerde toxiciteitsindex voor clusters van stoffen met gelijksoortige effecten is in beginsel mogelijk ...' [GR95b]. Deze commissie acht overigens dat het '... op grond van empirische gegevens mogelijk is een index op te stellen voor geluid en geur op basis van hinder ...' [GR95b].

De kaarten die de kans op sterfte als gevolg van stoffen weergeven zijn in principe met de risicokaarten voor straling en externe veiligheid te combineren. De hiervoor genoemde commissie van de Gezondheidsraad is overigens van mening: '... De commissie acht het niet mogelijk (alleen) op basis van empirische gegevens een gecombineerde index te maken voor carcinogene effecten en ongevalsrisico (externe veiligheid) hoewel beide factoren kunnen leiden tot sterfte ...' [GR95b].

Daar de eindpunten (sterfte, overige gezondheidseffecten en hinder) zeer uiteenlopend zijn, is er vooralsnog geen methode om deze te sommeren. De commissie van de Gezondheidsraad concludeert '... dat het niet mogelijk is om op een empirische-natuurwetenschappelijke of medische basis voor hinder, ziekte en sterfte één schaal te construeren voor gezondheidschade of -risico ...' [GR95b].

Er is besloten de optelling van sterfte, overige gezondheidseffecten en hinder in dit onderzoek niet uit te voeren (zie ook hoofdstuk 6 van het achtergronddocument). Mede ook gezien in het licht van het doel van het totale project: in fase 3 moet immers een relatie worden gelegd tussen milieurisico's en gezondheidsverschillen. In dat kader is een sommatie van sterfte, overige gezondheidseffecten en hinder niet zinvol. Ook zijn de risico's als gevolg van mogelijke ongevallen met Nederlandse kerncentrales (lange termijn effecten) niet opgeteld bij de externe-veiligheidsrisico's.

3 STERFTE EN EXTERNE VEILIGHEID

3.1 Inleiding

In het externe-veiligheidsbeleid gaat het om het beheersen van activiteiten die een risico voor de omgeving met zich meebrengen. Het gaat vaak om risico's die gekenmerkt worden door kleine kansen op grote gevolgen. Het externe-veiligheidsbeleid richt zich vooral op het voorkómen van zware ongevallen. Tot nu toe richt zich het beleid in hoofdzaak op de bescherming van personen die zich bevinden in de nabijheid van risicovolle activiteiten (inrichtingen en transport) tegen de gevolgen van grote ongevallen. Het aangeven welke risico's aanvaardbaar worden geacht is een langdurig proces geweest; de ontwikkeling van het externe-veiligheidsbeleid werd vooral gestimuleerd door calamiteiten van aanzienlijke omvang. Deze ongevallen zijn ondermeer de explosie te Flixborough in 1974 (28 doden, werknemers), de explosie in Beek in 1975 (14 doden, werknemers) het ongeluk in Seveso in 1976 en in het bijzonder de explosie in Los Alfaques in 1978 waarbij 216 doden vielen onder de burgerbevolking. De aandacht voor een beleid gericht op de externe veiligheid werd in het midden van de tachtiger jaren versterkt door de ongelukken in Mexico City (500 doden) en Bhopal (2500 doden).

In het externe veiligheidsbeleid wordt het overlijdensrisico van personen uitgedrukt in twee, elkaar aanvullende risicomaten: het individueel risico en het groepsrisico. Het individueel risico is in deze context uitgedrukt in de kans per jaar dat een onbeschermd individu dat permanent op een bepaalde plaats aanwezig is overlijdt als gevolg van een ongeval. Indien bij één ongeval meerdere slachtoffers vallen, wordt dat ongeval door de samenleving als ernstiger ervaren dan wanneer dit aantal personen door een aantal niet-gelijktijdige gelijksoortige ongevallen om het leven komt. Om die reden wordt naast het individuele risico ook het groepsrisico als maat gehanteerd. Het groepsrisico is uitgedrukt in de kans per jaar dat een ongeval tenminste een bepaalde grootte heeft. Het wordt veroorzaakt door de combinatie van een potentieel gevaarlijke activiteit en het aantal personen in de omgeving [VR94a]. Omdat het groepsrisico een verband is tussen kans op en omvang van een ongeval (een tweedimensionale grootheid) kan het niet eenvoudig worden gekarteerd en blijft het in dit onderzoek dan ook verder buiten beschouwing.

Over de feitelijke situatie rond de externe veiligheid is maar beperkt informatie beschikbaar [A194]. De risico's van EVR-plichtige bedrijven zijn beschreven in de zogenaamde externe-veiligheidsrapporten (EVR) die conform het Besluit Risico's Zware Ongevallen voor ieder van de inrichtingen aan het bevoegd gezag dienen te worden overlegd [BR92]. Tevens zijn er van de twintig belangrijkste rangeeremplacementen risicogegevens beschikbaar. Er bestaat geen volledig landelijk dekkend overzicht van de ligging, noch van de ruimtelijke-orderingstoestand - zoals de verdeling van de woningbouw - rond LPG-stations en andere potentieel gevaarlijke inrichtingen zoals de opslagplaatsen van chemicaliën en ammoniak-koelinstallaties. Voor wat betreft het transport van gevaarlijke stoffen is thans een overzicht bekend van situaties waarin mogelijk problemen kunnen rijzen met betrekking tot voorzienbare toekomstige woonbebouwing [GS94]; echter een totaal overzicht van de risico's ontbreekt. Voor de luchtvaart zijn er risicogegevens van Schiphol beschikbaar. De risico's van andere vliegvelden zoals Beek en Zestienhoven zijn onderwerp van studie.

3.2 Methoden en aannamen

Risicoanalyses volgen de keten 'falen van de omhulling', 'vrijkomen van een gevaarlijke stof', 'blootstelling aan een toxische stof' respectievelijk 'ontsteking van een brandbare stof gevolgd door explosie en brand', 'belasting van mensen' en 'effecten op mensen' (meestal overlijden). Voor meer details wordt verwezen naar de nadere regels bij het Besluit Risico's Zware Ongevallen, de handleiding A73 (IPO, 1994), de knelpuntenoverlegstukken, de notities en richtlijnen van de subcommissie risicoevaluatie van de commissie preventie van rampen door gevaarlijke stoffen, en het Theory manual bij SAFETI 3.4 (Technica, Londen, 1994). Van de aannamen en veronderstellingen zijn hier de volgende van belang.

De risicobronnen zijn ondermeer industriële installaties en transportroutes voor gevaarlijke stoffen. De gebeurtenissen die worden beschouwd, zijn het vrijkomen van gevaarlijke stoffen in de atmosfeer. De primaire grootheden zijn de kans op een bepaald scenario, de hoeveelheid stof die daarbij vrijkomt en de condities waaronder de stof vrijkomt. In principe vormen (combinaties van) de primaire grootheden een continuüm. Dit continuüm wordt gediscretiseerd in representatieve scenario's (EDF's, *Exemplified Discrete Failures*). Deze vormen samen een adequate beschrijving van het continuüm aan mogelijkheden. Indien de afstanden waarop effecten optreden klein zijn in vergelijking met de afmetingen van een installatie of inrichting en de ruimtelijke spreiding van gasontsnappingsen derhalve van invloed kan zijn op de risicocontouren wordt deze ruimtelijke spreiding expliciet verwerkt.

De kansen zijn gebaseerd op historische gegevens over de betrouwbaarheid van componenten, systemen en menselijk handelen. De uitstromingstoestanden zijn berekend op basis van fysische modellen. Deze beschrijven de uitstroming soms exact, soms bij benadering. Modellen zijn waar mogelijk geverifieerd met experimenten en waarnemingen in de praktijk.

De verspreiding in de atmosfeer is afhankelijk van de atmosferische condities. Voor een adequate beschrijving van de mogelijke variatie in atmosferische condities wordt een klassensysteem gehanteerd (meestal 6 combinaties van atmosferische stabiliteit en windsnelheid). Tevens wordt een aantal primaire windrichtingen gehanteerd (meestal 12). De verdelingen over de klassen en windrichtingen wordt afgeleid van gegevens van lokale weerstations.

Bij de verspreiding van de stoffen in de atmosfeer is de invloed van de zwaartekracht van belang. De concentraties zijn vlak na de vrijzetting hoog (vaak 100%). De resulterende wolk kan een sterk van de atmosferische lucht verschillende dichtheid hebben. Ook de begin-impuls is van belang. In de modellen wordt daarmee dan ook rekening gehouden (dit in afwijking van zogenaamde gaussische dispersiemodellen). De variaties in het windveld met de tijd zijn gezien de korte duur van de verschijnselen (orde van grootte één uur) niet van belang. Ook het aanwezig zijn van een inversielaag is, in tegenstelling tot de situatie bij luchtverontreiniging, niet van belang. De concentraties zijn gedaald tot beneden een voor de risicoanalyse interessant niveau voordat de inversielaag wordt bereikt.

De effecten van blootstelling aan toxische stoffen worden berekend met behulp van een zogenaamde probit-relatie. Deze relatie geeft het verband tussen de belasting en de kans op sterfte. De belasting is lineair afhankelijk van de tijdsduur van de blootstelling. De relatie tussen de belasting en de concentratie is niet noodzakelijk lineair. In het algemeen wordt de

belasting berekend door de concentratie (tot een zekere macht) als functie van de tijd te integreren over de tijd.

In de probit-relatie is inbegrepen dat de kans dat bij een mens een effect optreedt mede afhankelijk is van zijn gevoeligheid. De gemiddelde spreiding over de mensheid van de gevoeligheid voor de stof in kwestie is dus in de probit-relatie inbegrepen.

De overlijdenskans als gevolg van de blootstelling aan toxische stoffen wordt steeds uitgerekend voor het concentratieverloop in de buitenlucht. Behalve omdat dit in Nederland aansluit bij de normering volgens de notitie Omgaan met Risico's is er ook nog een 'technische' reden om dit te doen. De duur van een verhoogde concentratie in de buitenlucht als gevolg van een ongeval ligt in de orde van een half uur en varieert van plaats tot plaats. Dat leidt ertoe dat het binnendringen in woonhuizen als gevolg van de ventilatie van plaats tot plaats en voor ieder type ongeval verschillend is. De voor een redelijk nauwkeurige berekening van de 'binnen-'dosis vereiste inspanning gaat thans nog steeds ver uit boven de inspanning die nodig is om de 'standaard'-analyse te maken.

Bij explosies van brandbare stoffen wordt ervan uitgegaan dat iedereen binnen de 'vuurbal' van de explosie overlijdt. Voor personen buiten het directe bereik van de explosie wordt aangenomen dat van de mogelijke indirecte effecten alleen het instorten van woonhuizen, dan wel het naar binnen vliegen van glasscherven tot dodelijke verwondingen kan leiden. In de praktijk komt het erop neer dat binnen een bepaalde drukcirkel (bij een beschrijving met een zogenaamd TNT-equivalentie-model 0,1 bar overdruk) nog ongeveer 1 op de 80 van de woonachtigen om het leven komt. De kans dat men afwezig is, is inbegrepen. Dit cijfer is in overeenstemming met de letaliteit als gevolg van neerstortende vliegtuigen, aardbevingen en bombardementen op de civiele bevolking.

3.3 Risicokaarten

Vooraf het niet beschikbaar zijn van (landsdekkende) gegevens van voldoende kwaliteit heeft het aantal in kaart gebrachte bronnen beperkt. Zo is de beschikbare informatie over de locaties van LPG-stations te onbetrouwbaar om te gebruiken. Informatie over NH₃-koelinstallaties en opslagen van chemicaliën en explosieven is niet voorhanden. Dit geldt ook voor de risico's die zijn verbonden met transport over water, weg en rail. Van transport via pijpleidingen van olie, LPG en diverse chemicaliën (met uitzondering van aardgas) ontbreekt voldoende informatie. Voor de Nederlandse luchthavens is, met uitzondering van Schiphol, eveneens geen betrouwbare risico-informatie beschikbaar. Daarom zijn de risico's alleen in kaart gebracht voor EVR-plichtige bedrijven, rangeeremplacementen, hoge-druk-aardgastransportleidingen en Schiphol.

De kaarten in het voorliggende rapport zijn gebaseerd op informatie die uit verschillende bronnen afkomstig is. Voor de EVR-plichtige inrichtingen zijn de risicocontouren ontleend aan officiële externe-veiligheidsrapporten. Voor de andere risicobronnen zijn dat de door diverse bureaus en organisaties opgestelde risicoanalyses die ten grondslag hebben gelegen aan zonerings- en andere besluiten [IM93, AM94, GS94, PK95, LP84, VR84, CP92]. Voor de EVR-plichtige bedrijven en de rangeeremplacementen is informatie gegeven tot aan de 10⁻⁸-contour. Buiten deze contour zijn geen gegevens aanwezig. Voor de hoge-druk-aardgastransportleidingen is aangenomen dat binnen de gemiddelde zoneringsafstand van 40 m het risico gelijk is aan 10⁻⁶ per jaar. Daarbuiten is aangenomen dat het risico gelijk is aan nul.

Meer gedetailleerde gegevens, in het bijzonder over de leidingdiameters in de verschillende leidingsecties, zijn niet bekend. Voor Schiphol is de informatie ontleend aan de Aanvullende Milieueffectrapportage Schiphol [AM94]. De informatie is bekend binnen de contour waar het individueel risico gelijk is aan 10^{-7} per jaar. Daarbuiten is geen informatie voorhanden.

In de rapportage zijn de individuele risico's weergegeven als contouren op kaarten. Om de informatie in het kader van het project Cumulatie milieurisico's te kunnen gebruiken zijn de contouren omgezet in rasterbestanden. Voor elk kaartvierkant van 100 bij 100 m binnen een gegeven buitenste contour is door middel van interpolatie de waarde van het individueel risico in het kaartvierkant berekend. Deze waarden zijn in de kaarten weergegeven. Indien meer dan één bron in een bepaald kaartvierkant bijdraagt aan het risico zijn de waarden in de centra van de kaartvierkanten bij elkaar geteld.

Bij het sommeren van de risicokaarten van de diverse bronnen is aangenomen dat de risico's nul zijn in de gebieden waarvoor geen gegevens beschikbaar zijn. De risico's zijn weergegeven in een rasterkaart met een kaartvierkant van 100 bij 100 m (kaart I-2). Omwille van de zichtbaarheid van de lokale details is ook een groter afgebeelde kaart van Nederland opgenomen (Nederland gesplitst in 6 delen; kaart I-1a t/m kaart I-1f).

De kaart laat een landelijk beeld zien dat als volgt is te karakteriseren. De risico's zijn geografisch zeer lokaal: de afstand tot de bron waarover het risico afneemt van het maximum tot kleiner dan 10^{-8} per jaar bedraagt hooguit enkele kilometers voor alle in de kaart opgenomen bronnen, met uitzondering van Schiphol. Voor Schiphol bedraagt die afstand vele kilometers, met bovendien 'lange en smalle' uitlopers in het verlengde van de start- en landingsbanen. Het hogedrukaardgaspijpleidingennetwerk strekt zich uit over heel Nederland met uitzondering van de Veluwe en met in het noord-oosten lokale concentraties van pijpleidingen. De hoogste concentratie van EVR-plichtige bedrijven bevindt zich in het Rijnmond-gebied. Daar treedt overlap op van gebieden met verhoogde risico's als gevolg van verschillende bedrijven. Deze cumulatie van risico's treedt in de rest van Nederland nagenoeg niet op.

De belangrijkste kanttekening die bij de kaart met externe-veiligheidsrisico's moet worden geplaatst is dat het beeld niet compleet is. In het voorgaande is reeds aangegeven dat diverse typen opslagen (LPG, chemicaliën), transport over weg, water en rail en de overige vliegvelden nog ontbreken. De LPG-stations veroorzaken een risico dat op een afstand van enkele honderden meters lager is dan 10^{-8} per jaar. Toevoegen van de LPG-stations in de kaart zou het landelijke beeld niet substantieel wijzigen; toevoegen van risico-informatie voor transport over weg, water en rail en voor de overige vliegvelden zou het landelijk beeld daarentegen wel substantieel wijzigen.

4 STERFTE ALS GEVOLG VAN STRALING EN STOFFEN

4.1 Inleiding

Het risicobeleid voor straling en stoffen is erop gericht om deze risico's terug te dringen tot onder het zogenaamde maximaal toelaatbare niveau. Een belangrijk verschil tussen straling en stoffen is dat voor straling een maximaal toelaatbaar niveau is gedefinieerd per bron en voor stoffen per stof of groep van stoffen. Daarom zijn de risicokaarten voor straling berekend per bron of per categorie van bronnen en voor stoffen per stof.

In dit hoofdstuk komt uitsluitend het effect 'sterfte' als gevolg van blootstelling aan straling en stoffen (inclusief radioactieve stoffen) aan de orde. De overige effecten van stoffen zijn onderwerp van het volgende hoofdstuk.

4.2 Methoden en aannamen

4.2.1 Straling

Voor 'straling' is de risicobenadering uitgewerkt in de volgende nota's en rapporten: Omgaan met Risico's, Omgaan met Risico's van Straling, Handleiding 'Beleidsstandpunten stralingshygiëne ten behoeve van vergunningverlening', en Risicoberekeningen voor in het milieu geloosde radionucliden - Onderbouwing richtlijn voor vergunningen (RIBRON) [OMR89, ORS90, BS93, La94]. In deze nota's en rapporten zijn de begrippen en de standpunten van de Nederlandse overheid ten aanzien van de risico's van straling uitgewerkt. Hoewel de beleidsstandpunten [BS93] zich strikt genomen richten op vergunningverlening, leent het geboden instrumentarium zich ook om te worden ingezet bij het in kaart brengen van risico's.

De emissies van radioactieve stoffen worden onderverdeeld in twee soorten, te weten de reguliere lozingen en de (mogelijke) ongevalslozingen. Conform het beleid voor de diverse bronnen van straling worden de volgende broncategorieën onderscheiden [ORS90]: (1) functionele toepassing van ioniserende straling, (2) niet-nucleaire industrieën, (3) bouwen en wonen, en (4) overige bronnen (inclusief niet-ioniserende straling). De functionele toepassingen worden vervolgens weer nader ingedeeld in (a) nucleaire installaties, (b) radionuclidenlaboratoria, (c) ingekapselde bronnen en toestellen, (d) transport van bronnen en afval, (e) opslag van radioactief afval, en (f) consumentenprodukten.

Er worden twee typen emissies onderscheiden: lozingen naar de lucht (via de schoorsteen of als gevolg van verwaaien van op het bedrijfsterrein opgeslagen grond-, afval- en reststoffen of bij overslag) en lozingen naar oppervlaktewater. Bovendien is de externe straling (directe 'emissie' van straling door een bron of afkomstig van op het bedrijfsterrein opgeslagen grond-, afval- en reststoffen) van belang. De emissies zijn afgeleid uit metingen of ze zijn geschat. De volgende verspreidingsroutes zijn onderscheiden: verspreiding van radioactieve stoffen via de lucht, depositie van radioactieve stoffen van de lucht naar de bodem, verspreiding van oppervlaktewater en depositie van radioactieve stoffen op de bodem door irrigatie of slib.

De belasting wordt uitgedrukt in 'effectieve dosis' (vaak kortweg 'dosis'; eenheid: Sv). Dit is de hoeveelheid energie die per kilogram orgaan of weefsel wordt geabsorbeerd, naar effect gewogen over diverse organen en weefsels en gesommeerd over de tijd. (Voor dosis per

tijdseenheid spreekt men van dosistempo.) Aan deze definitie ligt het model voor stralings-schade ten grondslag. Aangenomen wordt dat het risico (uitgedrukt in kans op overlijden) in een (grote) groep blootgestelden lineair toeneemt met de dosis, en dus lineair met de tijdsduur van de blootstelling. Er worden drie blootstellingsroutes onderscheiden: inhalatie van lucht, ingestie van voedsel dat is verontreinigd door opname van radioactieve stoffen uit de bodem en externe straling afkomstig van radioactieve stoffen in de lucht of op de bodem, en externe straling rechtstreeks afkomstig van ingekapselde radioactieve bronnen of toestellen.

Er is een sterfte-risico-factor van 0,025 per Sv gehanteerd (voor radon wordt een afwijkende risicofactor gehanteerd [Va91]). Met andere woorden, de dosis-effect-relatie, die lineair wordt verondersteld, is vereenvoudigd tot vermenigvuldigen van de berekende dosis (in Sv; gecumuleerd over één jaar) met één constante.

4.2.2 *Stoffen*

De meeste van de in dit hoofdstuk beschouwde stoffen worden als carcinogeen aangemerkt. Voor de methode die is gevolgd bij de selectie van de te beschouwen stoffen wordt hier verwezen naar paragraaf 5.1.

Voor stoffen is alleen verspreiding via de lucht beschouwd (zie ook paragraaf 5.2). Voor de gevolgde methode bij het berekenen van de concentraties in de lucht wordt verwezen naar paragraaf 5.2.2.

Voor de blootstelling aan stoffen in lucht wordt uitgegaan van de concentratie van de stof op leefniveau. Voor carcinogene stoffen, waarvoor een lineaire concentratie-respons/effect-relatie is aangenomen, is een jaargemiddelde concentratie gehanteerd. De variaties in de tijd zijn namelijk niet relevant bij een lineaire concentratie-respons/effect-relatie. De omrekening van de concentratie van een stof in de lucht naar het risico is daarmee een eenvoudige vermenigvuldiging. De vermenigvuldigingsfactor hangt alleen nog af van de stof (zie achtergronddocument).

4.3 Risicokaarten

4.3.1 *Basisrisico straling*

In paragraaf 2.3 is onderscheid gemaakt tussen de risico's die 'in kaart worden gebracht' en de risico's die tot het basisrisico moeten worden gerekend omdat deze niet of nauwelijks over Nederland variëren of waarvan slechts een schatting voor totaal Nederland is te maken omdat er onvoldoende gegevens over de geografische spreiding beschikbaar zijn.

In de volgende paragrafen zijn kaarten opgenomen van de risico's als gevolg van lozingen naar de lucht door nucleaire installaties en de niet-nucleaire industrie. Van de overige broncategorieën is een schatting gemaakt van het basisrisico. De risico's als gevolg van lozingen naar water zijn niet eenvoudig geografisch te specificeren, omdat blootstelling vooral via eten van vis plaatsvindt. De vis wordt in heel Nederland gegeten. De risico's van de lozingen naar water zijn daarom tot het basisrisico gerekend.

Van Hienen *et al.* schatten een jaarlijkse individuele dosis als gevolg van lozingen van de nucleaire installaties (vooral ^{60}Co) naar water van de orde van grootte van 10^{-8} Sv, hetgeen overeenkomt met een risico van $2,5 \cdot 10^{-10}$ per jaar [Hi90].

De gemiddelde individuele dosis voor leden van de bevolking ten gevolge van lozingen naar water door radionuclidenlaboratoria en door behandelde patiënten bedraagt naar schatting $4 \cdot 10^{-8}$ Sv per jaar. Deze dosis wordt voor 80% bepaald door het isotoop ^{131}I [BI91]. Het bij deze dosis behorende risico bedraagt $1 \cdot 10^{-9}$ per jaar.

Transport van radioactief materiaal kan aanleiding geven tot externe bestraling van individuen. Gegevens over transporten van radioactief materiaal zijn onvoldoende om een reëel geografisch overzicht van deze transporten te maken. Hier wordt volstaan met een schatting van de hoogte van de met deze transporten samenhangende risico's. Blootstelling van leden van de bevolking vindt plaats tijdens het inhalen van of het in-de-file-rijden naast een radioactief transport, het wonen langs een transportroute (waar vele transporten langskomen) en het wonen nabij een laad- en lozpunt (ziekenhuis of laboratorium-ingang). De eerste twee mogelijkheden leveren, zelfs onder zeer conservatieve aannamen een risico op dat niet boven de $4 \cdot 10^{-7}$ per jaar komt. Nabij een laad- en lozpunt is een risico van $6 \cdot 10^{-6}$ per jaar mogelijk, onder de (extreme) aanname dat het dosistempo nabij het pakket radioactief materiaal gelijk is aan het maximaal toelaatbare dosistempo (volgens de vergunning).

Er is één locatie in Nederland waar radioactief afval wordt opgeslagen (Sloegebied, COVRA). In werkelijkheid ligt een deel van het afval op locaties verspreid over Nederland waar het is geproduceerd en is een deel via transport onderweg naar het COVRA-terrein. Externe bestraling, dat het meest belangrijkste belastingpad vormt, zorgt voor een risico van maximaal $1 \cdot 10^{-6}$ per jaar aan de terreingrens [CO89]. Op 300 meter is de stralingsbelasting maximaal $2 \cdot 10^{-6}$ Sv per jaar, hetgeen overeenkomt met een sterfterisico van $5 \cdot 10^{-8}$ per jaar.

Tot de consumentenprodukten die bijdragen aan de stralingsbelasting, doordat ze radionucliden bevatten, behoren onder andere gloeikousjes, brandmelders, beeldschermen van televisietoestellen en personal computers, uurwerken en lasstaven. Voor de meeste consumentenprodukten is, bij regulier gebruik, externe bestraling het belangrijkste blootstellingspad, gevolgd door inhalatie [BI91]. Het vóórkomen van de consumentenprodukten kan, zeker in het geval van televisietoestellen en uurwerken, redelijk homogeen over Nederland worden geacht. Derhalve wordt hier volstaan met een gemiddeld (basis)risico over Nederland: voor alle consumentenprodukten samen naar schatting $2,3 \cdot 10^{-7}$ per jaar [BI91].

De risico's van radioactieve stoffen en straling in de 'gebouwde omgeving', dat wil zeggen in gebouwen met en zonder woonfunctie, worden veroorzaakt door nucliden die van nature aanwezig zijn in de bodem, in de buitenlucht en in bouwmaterialen. Deze drie 'bronnen' dragen respectievelijk 70%, 10%, en 20% bij aan de radonconcentratie in de binnenlucht [MV91, BR94]. De belangrijke blootstellingspaden zijn inhalatie van radonvervalprodukten in binnenlucht en externe bestraling door bouwmaterialen. De concentratie van radon in de woning is afhankelijk van vele factoren: het type woning (de toegepaste bouwwijze: met of zonder kruipruimte, vrijstaand, in een blok of als appartement e.d.), de gebruikte bouwmaterialen (gipsplaat, hout, beton; mate van afdekking met bijvoorbeeld verf, behang e.d.), de radiumconcentratie in de grond onder de woning (in klei is deze hoger dan in bijvoorbeeld zand) en diverse bodemparameters die het transport van radon in en de exhalatie uit de bodem bepalen, de radonconcentratie in de buitenlucht (hangt weer af van de

radiumconcentratie in de bodem, maar ook van de meteorologische omstandigheden) en het gedrag van bewoners (o.a. stook- en ventilatiegedrag). Gezien de grote variatie in woningbouw, toegepaste bouwmaterialen en gedrag van bewoners zijn er tot op heden nog weinig duidelijke correlaties gelegd. Wel is bekend dat de over het totale Nederlandse woningenbestand gemiddelde radonconcentratie sinds 1960 ongeveer 50% is toegenomen door gebruik van andere bouwtechnieken en bouwtechnieken [Pu86, BI93]. Gemiddeld over de huizen in Nederland geeft de inhalatie van radonvervalprodukten in het binnenmilieu en de externe bestraling vanuit bouwmaterialen samen een risico van ongeveer 6.10^{-5} per jaar [MV91, Va91]. Ondermeer omdat nog niet duidelijk is hoe de radonconcentratie in woningen afhangt van het bodemtype wordt dit risico vooralsnog beschouwd als basisrisico.

Het optreden van effecten voor de gezondheid van de mens als gevolg van *niet-ioniserende* straling is wetenschappelijk omstreden [Ki95]. Een uitzondering hierop is de UV-straling afkomstig van de zon en van bruiningsapparatuur en halogeenlampen. Op aarde is een toename van UV-straling geconstateerd als gevolg van de afname van de dikte van de ozonlaag [SI92, SI94]. Op het aardoppervlak is in Nederland in 1992 ongeveer 50 kJ/m^2 meer UV terecht gekomen dan in het tijdperk (vóór 1950) vóór de emissies van ozonaantastende stoffen (waaronder CFK's). Het risico toegeschreven aan de blootstelling van de Nederlandse bevolking aan die extra hoeveelheid UV bedraagt in 1992 naar schatting 5.10^{-6} per jaar [SI94]. De risico's van UV-bestraling door halogeenlampen worden geschat op 2.10^{-6} per jaar bij normaal gebruik (500 uur per jaar op 1 meter afstand) [Br92]. Aan dit risico staan ongeveer één miljoen mensen in Nederland bloot, dus gemiddeld over Nederland betekent dit een (basis)risico van $1,3.10^{-7}$ per jaar.

In tabel 2 zijn de risico's opgesomd die tot het basisrisico zijn gerekend in volgorde van afnemend risico. Het totale basisrisico bedraagt $6,6.10^{-5}$ per jaar.

Tabel 2 Broncategorieën die bijdragen aan het basisrisico. Risico's en doses zijn gegeven per jaar gemiddeld over Nederland. De UV-belasting van halogeenlampen is gegeven in werkelijk ontvangen dosis gemiddeld per Nederlander. De toename UV door afname van de ozonlaag is de toename op grondniveau ten opzichte van het tijdperk vóór de emissies van ozonaantastende stoffen.

Broncategorie	Belasting	Risico (per jaar)	Referenties
radon in het binnenmilieu (gemiddeld) (0,2-4 mSv, ofwel 8.10^{-6} - 2.10^{-4} per jaar)	$1,3.10^{-3} \text{ Sv}$	$5,4.10^{-5}$	[MV93, BR94] [Va91]
gammastraling uit bouwmaterialen	$3,0.10^{-4} \text{ Sv}$	$7,5.10^{-6}$	[BR94]
toename UV door afname ozonlaag	$50,0 \text{ kJ/m}^2$	$5,0.10^{-6}$	[MV93, SI94]
waterlozingen niet-nucleaire industrie (zeevis)	$4,0.10^{-6} \text{ Sv}$	$1,0.10^{-7}$	[Le96]
radionucliden in consumentenprodukten	$9,0.10^{-6} \text{ Sv}$	$2,3.10^{-7}$	[BI91]
UV-belasting door halogeenlampen	$2,0 \text{ kJ/m}^2$	$1,3.10^{-7}$	[Br92, Ki95]
radionuclidenlaboratoria en patiënten (max. $3,0.10^{-7} \text{ Sv}$, ofwel $7,5.10^{-9}$ per jaar)	$4,0.10^{-8} \text{ Sv}$	$1,0.10^{-9}$	[BI91]
waterlozingen kerninstallaties	$1,0.10^{-8} \text{ Sv}$	$2,5.10^{-10}$	[BI91] [Hi90]
Totaal		$6,6.10^{-5}$	

4.3.2 *Straling*

Voor straling zijn de volgende kaarten vervaardigd. Eén kaart voor mogelijke ongevallen met de twee Nederlandse kerncentrales (kaart II-1), één kaart voor de reguliere lozingen door de in Nederland voorkomende nucleaire installaties (kaart II-2), drie kaarten voor de reguliere lozingen van radioactieve stoffen naar lucht door niet-nucleaire industrie (kaarten II-3a t/m II-3c) en tenslotte één somkaart (kaart II-4).

Mogelijke ongevallen met Nederlandse kerncentrales

Voor de Nederlandse kerncentrales in Borssele en Dodewaard zijn in 1993 respectievelijk 1994 milieueffectrapportages (MER) opgesteld waarbij de risico's van mogelijke ongevallen zijn berekend met behulp van diverse ongevalsscenario's [ME93, ME94]. Voor deze berekeningen is gebruik gemaakt van probabilistische technieken (*Probabilistic Safety Analysis*; PSA) om de risico's goed te kunnen inschatten. Het totale individuele risico bestaat uit de som van het overlijdensrisico ten gevolge van vroege effecten en het resterende overlijdensrisico als gevolg van late effecten. Uiteindelijk is per afstand de maximale waarde voor het individueel risico berekend [ME93, ME94]. De gegevens uit de milieueffectrapportages geven wel informatie over het maximale risico per afstand, maar niet over de richting waarin (per afstand) dit maximum voorkomt. Om toch een kaart te kunnen maken is gekozen voor de benadering waarbij concentrische cirkels rond de centrale worden getrokken met behulp van de in de milieueffectrapportages gegeven maximale waarden (kaart II-1). Daarbij moet worden bedacht dat deze kaart slechts een globaal beeld geeft van de risicocontouren rond de centrales en dat het risico op verschillende plaatsen wordt overschat.

Van de twee onderzoeksreactoren in Nederland (Delft, Petten) zijn onvoldoende gedetailleerde gegevens beschikbaar om de risico's als gevolg van mogelijke ongevallen in de kaart op te nemen.

In Europa zijn momenteel meer dan 200 kerncentrales voor elektriciteitsproductie operationeel. Het reactorongeluk in Tsjernobyl in 1986 heeft aangetoond dat een ongevalslozing in grote delen van Europa tot hoge besmettingsniveaus kan leiden. Het sterfterisico in Nederland als gevolg van mogelijke ongevallen met alle Europese kerncentrales tezamen wordt geschat op $1 \cdot 10^{-7}$ tot $4 \cdot 10^{-7}$ per jaar [SI93]. De West-Europese centrales dragen daarin voor ongeveer de helft bij; de bijdrage van de Oost-Europese centrales komt vrijwel geheel (97%) voor rekening van de centrales van het Tsjernobyl-type [MB95].

Nucleaire installaties

In Nederland bevinden zich vijf nucleaire installaties: twee kernenergiecentrales (Dodewaard en Borssele), twee onderzoeksreactoren (Delft, Petten) en de uraniumopwerkingsfabriek Urenco (Almelo). Het resultaat van de berekeningen van de risico's als gevolg van de reguliere lozingen van deze nucleaire installaties is opgenomen in kaart II-2. Het maximale individuele risico ten gevolge van de kerncentrale Borssele bedraagt $2,5 \cdot 10^{-10}$ per jaar, voor de kerncentrale Dodewaard $2,8 \cdot 10^{-10}$ per jaar en voor de het Laboratorium voor sterk stralende objecten, de Lage flux reactor en de Hoge flux reactor te Petten tezamen $2,2 \cdot 10^{-9}$ per jaar.

Niet-nucleaire industrie

Bij de niet-nucleaire industrie zijn vooral die bedrijven van belang die een grote hoeveelheid natuurlijke materialen, zoals fosfaat- en ijzererts en steenkool omzetten. Een overzicht van deze bedrijven, de emissies en de berekende risico's is recent verschenen [Le96] en heeft gediend als middel bij de selectie van welke (afzonderlijke) industrieën wel en welke niet in kaart II-3c zijn opgenomen. De twee sub-kaarten II-3a (kolencentrales) en II-3b (baksteenfabrieken) zijn ondermeer opgenomen om de cumulatie in beeld te brengen van vele (kleinere) bronnen die zich (relatief) dicht bij elkaar bevinden. In kaart II-3c zijn deze bronnen niet meer terug te vinden. Voor de details van de andere doorgerkende (kleinere) bronnen wordt verwezen naar hoofdstuk 3 van het achtergronddocument.

De kaart voor de niet-nucleaire industrie (kaart II-3c) wordt gedomineerd door drie grote bronnen: Hoechst, Hoogovens en ENCI. Het maximale individuele risico ten gevolge van de emissies van Hoechst bedraagt $6 \cdot 10^{-6}$ per jaar op een afstand van enkele kilometers ten noordoosten van de fabriek. De emissies leiden tot een risico tussen 10^{-7} en 10^{-6} per jaar in een groot deel van Zeeland en een risico tussen 10^{-8} en 10^{-7} per jaar in de rest van Nederland. Het maximale individuele risico ten gevolge van Hoogovens is $2 \cdot 10^{-7}$ per jaar op een afstand van ongeveer 3 km ten oosten van de fabriek. Ten gevolge van de industriële activiteit van de hoogovens wordt in het gebied tussen IJmuiden en Alkmaar het risico van 10^{-7} per jaar overschreden, het risico in het gebied ten noorden van de lijn Coevorden-Leiden ligt tussen 10^{-8} en 10^{-7} per jaar, en in de rest van Nederland ligt het risico beneden 10^{-8} per jaar. Voor de ENCI is een maximaal individueel risico berekend van $9 \cdot 10^{-5}$ per jaar net ten zuiden van het fabrieksterrein. Het risico van de cementproductie neemt zeer snel af met de afstand. Op 500 meter afstand is het risico reeds lager dan $2 \cdot 10^{-6}$ per jaar. Ten noordoosten van Maastricht is het risico ten gevolge van de cementproductie over een klein oppervlak tussen 10^{-7} en 10^{-6} per jaar, terwijl het risico tussen de 10^{-8} en 10^{-7} beperkt blijft tot Zuid Limburg. In de rest van Nederland bedraagt het risico minder dan 10^{-9} per jaar.

Radionuclidenlaboratoria en ingekapselde bronnen en toestellen

In Nederland zijn ongeveer 100 B-laboratoria en 400 C-laboratoria aanwezig, en ongeveer 1300 röntgentoestellen, 67 versnellers, 37 ingekapselde ^{60}Co -bronnen, 20 ingekapselde ^{137}Cs -bronnen en 350 ^{192}Ir -bronnen. Het is niet mogelijk op grond van de beschikbare gegevens de risico's van elk individueel radionuclidenlaboratorium op een juiste wijze te schatten. Daarbij is het bovendien zo dat een aantal bronnen en toestellen steeds op een wisselende plaats wordt gebruikt (bijvoorbeeld voor controle van lasnaden in pijpleidingen).

Somkaart straling

De somkaart straling (kaarten II-4a) bestaat uit een som van alle voorgaande (stralings-)kaarten. Het uiterlijk van deze somkaart wordt volledig bepaald door de (grote) niet-nucleaire industriële bronnen. Vanwege de zichtbaarheid van de details is de kaart ook weergegeven met meer risico-klassen (kaart II-4b). Het risiconiveau van 10^{-6} per jaar wordt slechts in een zeer klein deel van Nederland overschreden. Het risiconiveau van 10^{-5} per jaar wordt alleen nabij ENCI overschreden.

4.3.3 *Stoffen*

De kaarten III-1 t/m III-6 geven de verdeling van de berekende risico's per stof weer. Omdat het risico evenredig met de jaargemiddelde concentratie is verondersteld, verschillen de concentratie- en risicokaarten onderling een constante, stofafhankelijke factor. Bij de interpretatie van de kaarten is het van belang om te weten dat de hoogste concentraties voor bijna alle berekende kaarten op bedrijfsterreinen liggen.

Ethyleenoxyde, vinylchloride, 1,2-dichloorethaan en acrylonitril

De stoffen ethyleenoxyde, 1,2-dichloorethaan, acrylonitril en vinylchloride zijn afkomstig van primaire, voornamelijk industriële, emissies. Voor deze groep stoffen zijn de achtergrondniveaus van de risico's in de orde van grootte van 10^{-9} per jaar. In de buurt van de emissiepunten zijn de lokale pieken, met waarden tot ca. 10^{-7} à 10^{-6} per jaar, beduidend hoger.

Benzeen (C_6H_6)

Vergeleken met de vier hiervoor genoemde stoffen vertoont de concentratie van benzeen een vlakke ruimtelijke verdeling, met risico's verspreid over Nederland van de orde van grootte van ca. 10^{-7} à 10^{-6} per jaar. Hoewel tegen de 90% van de emissies van benzeen van het verkeer afkomstig is, leveren de ruimtelijk geconcentreerde industriële emissies in het Rijnmondgebied de hoogste risico's op. Daarbij moet worden bedacht dat zeer lokale verhogingen van benzeen in drukke straten en nabij andere verkeersgerelateerde bronnen zoals parkeergarages en tankstations door de ruimtelijke middeling over een kaartvierkant van 500 bij 500 m niet op de kaart zichtbaar zijn.

Benzo(a)pyreen (BaP)

Evenals benzeen wordt benzo(a)pyreen door diverse broncategorieën uitgestoten. De berekende risico's zijn ongeveer een orde van grootte hoger dan die van benzeen. Industriële bronnen emitteren het merendeel, maar ook verkeer en in mindere mate huishoudens (houtkachels) dragen bij. Ondanks de verschillen in emissiebijdragen van industrie en verkeer is het landelijke ruimtelijke patroon vergelijkbaar met dat van benzeen, met maxima rond sommige bedrijven. Ook hier kunnen zeer lokale verhogingen nabij lage bronnen zoals wegverkeer relevant zijn, maar zijn deze door de ruimtelijke middeling over een kaartvierkant van 500 bij 500 m niet zichtbaar op de kaart.

Fijn stof (PM_{10})

Een risicokaart voor PM_{10} is om twee redenen niet opgenomen. Ten eerste omdat de relatie tussen de fijn stof concentratie en sterfte ten gevolge van vooral chronische blootstelling aan fijn stof nogal onzeker is en ten tweede omdat het inzicht in de ruimtelijke verdeling van de fijn stof concentraties beperkt is. Meetgegevens geven weliswaar een bruikbaar beeld van de gemiddelde concentratie in Nederland (35 à $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$), maar het is onduidelijk in hoeverre de niveaus nabij bronnen verhoogd zijn en in hoeverre deze kwantitatief bijdragen aan de sterfterisico's. Het patroon dat uit de beschikbare metingen naar voren komt, vertoont een zeer vlakke structuur met verschillen van niet meer dan enkele tientallen procenten. In hoeverre dit patroon toepasbaar is rondom industriële bronnen is onduidelijk. Momenteel vindt er uitgebreid onderzoek plaats, dat naar verwachting eind 1996 meer duidelijkheid zal geven. Of

de fractie van fijn stof die voor het effect verantwoordelijk is, even weinig ruimtelijke variatie vertoont als PM_{10} is onbekend. Er zijn bijvoorbeeld aanwijzingen dat de fijnere fractie ($PM_{2.5}$) nog vlakker over Nederland verdeeld is dan PM_{10} , maar de verdeling van ultra-fijn stof daarentegen vertoont waarschijnlijk juist wel verhogingen nabij emissies tengevolge van verbrandingsprocessen.

De PM_{10} -niveaus geven een geschat risico van de orde van grootte van 10^{-3} per jaar, dat vertaald naar de Nederlandse bevolking een jaarlijks aantal doden van de orde van grootte van tienduizend betekent. Over de hoogte van dit aantal, dat gebaseerd is op recente epidemiologische studies gericht op de beschrijving van de gevolgen van chronische blootstelling, is momenteel sterke discussie gaande. Een van de andere aspecten daarbij is dat een deel van de sterfte geassocieerd met fijn stof waarschijnlijk betrekking heeft op het voortijdig overlijden van personen met reeds ernstige aandoeningen van de luchtwegen of het circulatoire systeem.

4.3.4 *Somkaart sterfte als gevolg van straling en stoffen*

Over Nederland als geheel bezien zijn de risico's van ethyleenoxyde, vinylchloride, 1,2-dichloorethaan en acrylonitril veel lager dan die van benzeen, benzo(a)pyreen en PM_{10} . Ook de plaatselijke pieken voor de eerste vier stoffen zijn niet hoog ten opzichte van het algemene risiconiveau van de drie andere stoffen. Voor Nederland als geheel is de berekende kans op overlijden voor benzeen gemiddeld van de orde van grootte van 10^{-7} per jaar, voor benzo(a)pyreen 10^{-6} per jaar en voor PM_{10} 10^{-3} per jaar. Wanneer de risico's voor de diverse stoffen worden gecumuleerd, blijken de verschillen in kans op overlijden tussen de stoffen zo groot te zijn dat het patroon van de stof met het grootste risico de somkaart domineert (kaart III-7). Uiteindelijk bepaalt benzo(a)pyreen de ruimtelijke verdeling van het risico. (Let wel, PM_{10} is hierbij niet meegenomen.)

Voor alle geselecteerde (niet-radioactieve) stoffen is de buitenlandse bijdrage het over Nederland gemiddelde risico groter dan de invloed van Nederlandse bronnen. Daar waar de risico's plaatselijk zijn verhoogd, is de bijdrage van de Nederlandse bronnen het belangrijkste (wellicht met uitzondering van PM_{10}). De somkaart is in vier verschillende uitvoeringen opgegeven, afhankelijk van het wel of niet meenemen van de buitenlandse bronnen. Kaart III-7a toont de risico's als gevolg van de lozingen door alleen binnenlandse bronnen, terwijl kaart III-7b de risico's toont als gevolg van lozingen door binnen- én buitenlandse bronnen tezamen. Deze laatste kaart is, net als de somkaart straling (kaart II-4b), vanwege de zichtbaarheid van de details ook weergegeven met meer risico-klassen (kaart III-7c). De vierde kaart (kaart III-7d) toont tenslotte de fractie van het risico dat wordt veroorzaakt door de binnenlandse bronnen (risico afkomstig van binnenlandse bronnen gedeeld door het risico afkomstig van binnen- en buitenlandse bronnen). In minder dan 10% van Nederland (in Noord- en Zuid-Holland) blijkt voor de geselecteerde stoffen het aandeel van de Nederlandse bronnen groter te zijn dan het aandeel van de buitenlandse bronnen. Dit heeft twee oorzaken: enerzijds bevinden zich in deze gebieden meer bronnen dan elders, anderzijds liggen deze gebieden 'relatief ver van de grenzen met het buitenland'.

Uiteindelijk is de somkaart straling (kaart II-4a) opgeteld bij de somkaart sterfte door stoffen (kaarten III-7a en III-7b) tot de beide totaalkaarten VI-1 (alleen binnenlandse bronnen) en VI-2 (voor stoffen ook de buitenlandse bronnen). Alleen in Zeeland zijn er duidelijke verschillen te zien tussen de totaalkaart met en de totaalkaart zonder straling.

5 OVERIGE GEZONDHEIDSEFFECTEN VAN STOFFEN

5.1 Inleiding

In totaal zijn er meer dan 100.000 stoffen in omloop, die onmogelijk allemaal in dit onderzoek kunnen worden bestudeerd. In het achtergronddocument is in detail beschreven hoe een beperkt aantal stoffen is geselecteerd dat geschikt wordt geacht om een beeld te geven van de verdeling van gezondheidsrisico's over Nederland. Allereerst is gekozen voor de lijst met aandachtstoffen in het Nederlandse milieubeleid [Ja94]; deze lijst bevat in totaal enige honderden individuele stoffen, waarvan een deel is opgenomen vanwege effecten op alleen ecosystemen. Dit deel is hier buiten beschouwing gelaten. Vervolgens is, vooral om praktische redenen zoals haalbaarheid binnen het onderzoek, alleen de blootstellingsroute via buitenlucht onderzocht. Tot slot zijn alleen die stoffen geselecteerd waarvan is te verwachten dat de blootstellingsconcentratie zodanig is dat er in werkelijkheid ook gezondheidseffecten zijn te verwachten (zie voor de details het achtergronddocument).

Hoeveel van het totale gezondheidsrisico door deze stoffen wordt vertegenwoordigd is niet te kwantificeren. Getracht is om de belangrijkste stoffen te kiezen. De gekozen stoffen zijn: PM₁₀ (dit is fijn stof bestaande uit deeltjes kleiner dan ongeveer 10 µm), benzeen, benzo(a)pyreen, ozon, stikstofdioxyde, acroleïne en zwavelwaterstof. Daaraan zijn op verzoek van de begeleidingscommissie nog de volgende vier carcinogene stoffen toegevoegd: ethyleenoxyme, vinylchloride, 1,2-dichloorethaan en acrylonitril.

Bij de keuze van de stoffen heeft de landelijke schaal centraal gestaan. Op een lokaal niveau, dat wil zeggen binnen een kaartvierkant van 500 bij 500 m, zou het kunnen voorkomen dat daar (ook) andere stoffen belangrijk zijn. Als dus de hier gebruikte methode wordt toegepast voor het in kaart brengen van risico's op een meer lokale schaal, dient men zich ervan bewust te zijn dat mogelijk (ook) andere stoffen in de analyse moeten worden betrokken.

Voor verontreiniging in de buitenlucht is, in tegenstelling tot bijvoorbeeld externe veiligheid en geluid, de bijdrage van buitenlandse bronnen groot. De berekende concentraties over Nederland betreffen dan ook de *totale* concentratie, bestaande uit de bijdragen van Nederlandse en buitenlandse bronnen. Voor de meeste stoffen is de invloed van Nederlandse en buitenlandse bronnen goed te scheiden, maar voor de stoffen PM₁₀, ozon en NO₂ is dat met de thans beschikbare middelen niet goed mogelijk. Voor de interpretatie van de risicokaarten is het belangrijk om op te merken dat juist bij deze stoffen de binnenlandse bijdrage tot de concentraties en risico's in Nederland soms kleiner is dan de buitenlandse. Voor ozon kunnen de Nederlandse bronnen (bijvoorbeeld NO-uitstoot door het verkeer) zelfs plaatselijk zorgen voor een verlaging van de concentratie ozon; dit leidt echter tevens tot een verhoging van de concentratie NO₂.

5.2 Methoden en aannamen

5.2.1 Algemeen

De humane gezondheidsrisico's zijn per stof en per kaartvierkant afgeleid uit de combinatie van de berekende concentraties in de buitenlucht en de concentratie-respons/effect-relatie. De middelingstijd van de concentratie is afhankelijk gesteld van de snelheid waarmee het toxische effect optreedt. Voor de meeste stoffen is de jaargemiddelde concentratie de beste

karacteristiek, maar voor enkele is gekozen voor een kortere tijdsduur voor het optreden van het effect: een dag voor PM_{10} en een uur voor ozon, acroleïne en zwavelwaterstof. Voor de laatstgenoemde stoffen is per kaartvierkant niet alleen de jaargemiddelde concentratie geschat, maar ook de frequentieverdeling van de concentraties, waarmee tenslotte het risico over een heel jaar is berekend.

5.2.2 *Berekening van de concentraties*

Voor zover zinvol en mogelijk zijn concentratiekaarten met het verspreidingsmodel OPS [Ja90] berekend, uitgaande van emissiegegevens voor bronnen in Nederland en in het omringende buitenland. De Nederlandse emissiegegevens zijn ontleend aan de Emissieregistratie, met een ruimtelijk detail van 500 m voor de kleinere bronnen, en de precieze locatie voor de grotere bronnen. De buitenlandse emissiegegevens zijn, met een zeer veel grovere resolutie, uit eerdere berekeningen overgenomen (zie voor details het achtergronddocument). Vervolgens zijn met behulp van het verspreidingsmodel de concentratiekaarten van de jaargemiddelde concentraties in Nederland berekend. Om buitensporige rekentijden als gevolg van de exceptioneel grote ruimtelijke detaillering van de brongegevens te voorkomen, zijn diverse vereenvoudigingen aangebracht in het model, waarmee de rekentijd kon worden gereduceerd.

Voor de stoffen, waarvoor geen buitenlandse emissiegegevens beschikbaar waren, is het ruimtelijk patroon van de buitenlandse bijdrage tot de concentraties van een qua verspreiding verwante stof gebruikt voor een schatting. Om de frequentieverdeling van de concentraties vast te stellen, zijn uit de jaargemiddelde concentraties 98-percentielen berekend met een plaatsonafhankelijke, maar stofs specifieke vermenigvuldigingsfactor die is afgeleid uit meetgegevens.

Omdat stikstofdioxyde en ozon voor het merendeel niet van rechtstreekse emissie afkomstig zijn, maar door chemische reactie in de atmosfeer ontstaan uit ondermeer NO_x , zijn hiervoor aparte berekeningen nodig. De concentraties (gemiddelden en percentielen) van beide stoffen zijn met empirische relaties bepaald uit de berekende NO_x -concentraties op 500m-schaal en geïnterpoleerde meetwaarden van oxydant (dit is de som van concentraties van NO_2 en ozon).

Hoewel landelijke concentratieverdelingen voor luchtverontreiniging niet eerder met een ruimtelijke resolutie van 500 m werden berekend, is 500 m nog altijd vrij grof wanneer men de blootstelling van mensen aan de hoogste concentraties in kaart wil brengen. Vlakbij lage bronnen kunnen de concentraties hoger zijn dan de concentraties gemiddeld over een gebied van 500 x 500 meter. Overschrijdingen van grenswaarden voor de luchtkwaliteit op afstanden van de orde van grootte van 10 m van grondbronnen worden doorgaans als belangrijk ervaren; luchtverontreiniging door verkeer is het meest voor de hand liggende voorbeeld. Ook omdat mensen zeer dichtbij zulke bronnen kunnen wonen, is deze lokale schaal relevant. Wel moet daarbij worden bedacht, dat naarmate de ruimtelijke verfijning groter wordt het verplaatsingsgedrag van mensen het risico meer zal beïnvloeden. In het achtergronddocument wordt nader ingegaan op de berekening van lokale risicokaarten; dergelijke berekeningen op zeer lokale schaal zijn in dit onderzoek echter niet uitgevoerd.

5.2.3 *Berekening van het risico*

Het risico is uitgedrukt in de gemiddelde (over de tijd) te verwachten fractie van de individuen in het kaartvierkant dat het afzonderlijke effect vertoont als gevolg van alle bronnen tezamen.

Per stof is een concentratie-respons/effect-relatie afgeleid voor het meest gevoelige effect. Als er tevens andere (ernstiger) gezondheidseffecten zijn te verwachten bij de in de buitenlucht voorkomende concentraties zijn deze in een aparte concentratie-respons/effect-relatie verwerkt. Uiteindelijk zijn alle risico's omgerekend naar een risico per jaar. De concentratie-respons/effect-relaties die bij de berekeningen zijn gebruikt, zijn per stof beschreven in het achtergronddocument. Ook de mogelijke interacties ten gevolge van gelijktijdige blootstelling aan een combinatie van de verschillende stoffen, bij de in het Nederlandse buitenmilieu voorkomende concentraties, zijn in het achtergronddocument beschreven. Voor de beschouwde stoffen zijn deze interacties zo gering dat ze in de kaarten niet in rekening zijn gebracht.

Voor de in dit onderzoek beoogde cumulatie van de verschillende gezondheidseffecten van de diverse stoffen is een aparte methode ontwikkeld. Deze is uitgebreid beschreven in het achtergronddocument. De kern van de methode bestaat uit een weging naar de ernst van de effecten én naar de tijd gedurende welke deze effecten in de populatie verwacht worden op te treden. De weging naar ernst en duur van de effecten is op te vatten als een soort verwachtingswaarde per jaar. Bij het bepalen van de ernst is aansluiting gezocht bij het door de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) en de Wereldbank (WB) geïntroduceerde begrip *disability adjusted life years*. Door de begeleidingscommissie is uitgesproken dat zij een dergelijke gemeenschappelijke noemer en de door de WHO/WB ontwikkelde gradatie van effecten voor het cumulatie-deel van dit onderzoek in principe bruikbaar acht; echter alleen voor zover het effecten betreft anders dan sterfte. Per kaartvierkant worden in deze benadering voor de verschillende stoffen de individuele en de combinatie-effecten, uitgedrukt in de gemeenschappelijke noemer, opgeteld tot een schatting van het gecumuleerde risico op 'overige gezondheidseffecten' van stoffen. Met 'overige gezondheidseffecten' wordt hier bedoeld alle gezondheidseffecten met uitzondering van sterfte (inclusief kanker; beleidsmatig is gesteld dat er geen rekening wordt gehouden met de 'geneesbaarheid' van kanker). De risico's voor het effect sterfte zijn elders in dit rapport behandeld (zie hoofdstuk 4).

De met behulp van de beschreven methode geschatte gezondheidsrisico's zijn indicatief en daardoor beperkt bruikbaar. Een aantal kanttekeningen is in het achtergronddocument in detail uitgewerkt. In de eerste plaats is er bij het samenstellen van de concentratie-respons/effect-relaties geëxtrapoleerd vanuit een veel hoger concentratieniveau waarbij gezondheidseffecten zijn gevonden (soms wel 1000x hoger) naar de concentratieniveaus die worden verwacht in de buitenlucht. Momenteel bestaat daarvoor nog geen algemeen geaccepteerde methode; daarom is in dit onderzoek een (puur mathematische) beschrijving gehanteerd, die vooralsnog een (mechanistische) biologische basis ontbeert.

Een tweede kanttekening betreft de niet-lineariteit van de concentratie-respons/effect-relaties. Beleidsmatig wordt voor een aantal stoffen aangenomen dat een rechte lijn door de oorsprong het verband tussen concentratie en effect weergeeft. Op grond van biologische kennis is het waarschijnlijk dat met deze benadering een zekere extra veiligheid (= conservatieve benadering) wordt ingebouwd. Vanuit de optiek van (preventieve) normstelling is dit uiteraard geen bezwaar. Echter, wanneer de werkelijk optredende risico's moeten worden ingeschat, kan deze vooronderstelde lineariteit in sommige gevallen leiden tot een ernstige overschatting van de gezondheidsrisico's, die vooral optreedt bij de meestal zeer lage concentraties in het buitenmilieu.

De derde kanttekening betreft het feit dat in dit onderzoek wordt getracht om alleen de additionele risico's, dat wil zeggen de door menselijk handelen toegevoegde risico's, in te schatten. Voor stoffen met een lineaire concentratie-respons/effect-relatie is een scheiding tussen de door menselijk handelen toegevoegde blootstelling en de totale blootstelling eenvoudig te maken. Voor stoffen met een niet-lineaire relatie is juist de totale blootstelling essentieel om tot schattingen te kunnen komen van de grootte van de risico's. Afhankelijk van de steilheid van de niet-lineaire relatie en de mate van blootstelling kunnen de te verwachten gezondheidseffecten daardoor juist relatief kleiner of relatief groter zijn. Bovendien wordt deze totale blootstelling, veel meer dan door de geografische verschillen, bepaald door factoren als leefstijl, sociaal economische status, blootstelling binnenshuis, blootstelling op het werk en blootstellingen buiten het aan de persoon toegewezen kaartvierkant van 500 bij 500 m. Dergelijke factoren vallen echter buiten het kader van dit onderzoek.

De vierde kanttekening betreft de tijdbasis van de diverse beschouwde gezondheidseffecten. Voor sommige stoffen met lineaire concentratie-respons/effect-relaties is het risico berekend uit de jaargemiddelde concentratie. Voor andere stoffen is het risico berekend uit uur- of daggemiddelde concentraties en vervolgens omgerekend naar een risico op jaarbasis.

De vijfde kanttekening betreft het feit dat ongelijksoortige gezondheidseffecten onder één noemer moeten worden gebracht om tot een cumulatie van effecten te kunnen overgaan. Daarvoor is een (arbitraire) ernst-factor nodig. In dit project is aangesloten bij de factoren van de WHO/WB, maar een andere keuze voor de waarde van deze factoren beïnvloedt de uitkomsten in sterke mate.

In de zesde plaats is in de gevolgde benadering geen onderscheid gemaakt tussen stoffen die bewezen hebben op zichzelf ook in een gezonde populatie een biologisch effect te kunnen veroorzaken bij de niveaus die in de buitenlucht voorkomen en bijvoorbeeld fijn stof, dat bij de huidige niveaus vooralsnog meer als een co-factor is op te vatten.

Tenslotte is er geen rekening gehouden met de tijd die verloopt tussen blootstelling en het optreden van de gezondheidseffecten. Voor sommige stoffen kan dit tijdverschil vele jaren bedragen. Daarmee wordt het onmogelijk om de voor 1992 berekende gezondheidsrisico's per kaartvierkant van 500 bij 500 m (ook al zou tegemoet kunnen worden gekomen aan de voorgaande zes kanttekeningen) te vergelijken met de in 1992 werkelijk opgetreden gezondheidseffecten in de populatie.

5.3 Risicokaarten

5.3.1 Algemeen

Bij het interpreteren van de kaarten dient te worden bedacht dat er binnen de 500 bij 500 m kaartvierkanten plaatselijk aanmerkelijk hogere concentraties kunnen voorkomen, bijvoorbeeld in de directe omgeving van drukke wegen. Deze komen door de middeling over een kwart vierkante kilometer niet in beeld.

5.3.2 Kaarten per stof

Zwavelwaterstof (H_2S)

De geschatte risico's van zwavelwaterstof liggen op de meeste plaatsen in de orde van grootte van 10^{-16} per jaar en zijn nergens hoger dan 10^{-9} per jaar. Omdat de emissiegegevens bovendien erg onzeker zijn en de geurdrempel voor stank veel hoger ligt dan de hier beschouwde concentraties, wordt de kaart hier niet weergegeven. Voor deze stof geldt dat het oorspronkelijk geschatte risico-quotiënt (> 1 ; zie tabel 5.1 in het achtergronddocument) niet in de uiteindelijke risicoschatting tot uiting komt.

Acroleïne

Hoewel de geschatte risico's van acroleïne (gemiddeld rond 10^{-12} per jaar of lager en nergens hoger dan 10^{-9} per jaar) hoger zijn dan die van zwavelwaterstof, is ook deze kaart hier niet opgenomen. In de berekeningen kon de bijdrage van secundair acroleïne, dat wil zeggen acroleïne dat in de atmosfeer uit andere stoffen wordt gevormd, niet worden gekwantificeerd. Verwacht mag worden dat deze bijdrage over Nederland maar zeer weinig varieert. De zeer schaarse meetgegevens geven de indruk dat de concentratie van secundaire acroleïne van dezelfde orde van grootte is als de hoogste hier berekende concentraties ten gevolge van Nederlandse bronnen. In dat geval worden de maximale risico's niet wezenlijk veranderd door de secundaire acroleïne. Acroleïne is grotendeels afkomstig van wegverkeer.

Stikstofdioxide (NO_2) en ozon (O_3)

NO_2 is grotendeels afkomstig van emissies ten gevolge van verbrandingsprocessen, waaraan wordt bijgedragen door verkeer, elektriciteitscentrales, industrie en huishoudens. Een klein deel, afkomstig van industriële processen, wordt in belangrijke mate direct als NO_2 uitgestoten; het merendeel wordt als NO in de atmosfeer gebracht en daarna in een reactie met ozon grotendeels in NO_2 omgezet.

Ozon (kaart IV-1) ontstaat uit een complex proces van fotochemische reacties in de atmosfeer. De belangrijkste oorzaken zijn emissies van stikstofdioxide en koolwaterstoffen. Ook natuurlijke bronnen dragen bij.

De NO_2 - en ozonconcentratie zijn op empirische wijze uit meetgegevens berekend. De ozonconcentraties en risico's hangen op niet-lineaire wijze af van emissies. Daardoor kunnen de bijdragen van broncategorieën niet in optelbare bijdragen worden onderscheiden. Doordat NO_2 en ozon uit andere stoffen in de atmosfeer worden gevormd en die vorming tijd kost, wijken de ruimtelijke verdelingen af van die van vele andere stoffen. De concentraties in brongebieden zijn minder gepiekt dan bij direkt geloosde stoffen gewoonlijk het geval is. De NO_2 -concentraties zijn maximaal een factor twee tot drie hoger dan in relatief schone gebieden van Nederland. Ozon wordt nabij NO -bronnen in NO_2 omgezet en is daardoor lokaal niet verhoogd, maar juist verlaagd.

Door de grote onzekerheden in de concentratie-respons/effect-relaties voor NO_2 wordt het niet verantwoord geacht hiervoor een risicokaart te maken. Er wordt volstaan met een concentratiekaart (kaart IV-2). Indien een lineaire concentratie-respons/effect-relatie zonder drempel zou worden gehanteerd (zie paragraaf 5.2.7 van het achtergronddocument), dan zouden

risico's (uitgedrukt in fractie individuen met luchtwegsymptomen) voorkomen van gemiddeld 0,02 en lokale maxima van 0,04 (schatting is omgeven met grote onzekerheden).

Fijn stof

De gezondheidseffecten van fijn stof beperken zich niet alleen tot sterfte. Ook een toename van de ziekenhuisopnamen ten gevolge van luchtwegaandoeningen is geassocieerd met een toename in de concentraties fijn stof. Eenzelfde relatie is te leggen met verergering van astma en luchtwegklachten bij kinderen. De mathematische uitdrukking van de relaties waarin de fractie van de populatie wordt uitgerekend die het betreffende gezondheidseffect vertoont, is beschreven in het achtergronddocument. In principe zouden voor deze andere gezondheidseffecten van fijn stof ook kaarten kunnen worden gemaakt. Deze zijn echter, deels om dezelfde reden als voor sterfte als gevolg van fijn stof, niet gemaakt.

5.3.3 *Somkaart overige gezondheidseffecten van stoffen*

Gezien de grote onzekerheden in de kwantificering van de risico's als gevolg van NO₂ en fijn stof was het niet mogelijk een enigszins verantwoorde somkaart te produceren. Het is opmerkelijk dat dit niet zozeer wordt veroorzaakt doordat de ongelijksoortigheid van de 'overige' gezondheidseffecten het optellen van risico's in de weg stond, maar dat de problemen al bij het berekenen van de risico's van de individuele stoffen optreden: voor fijn stof is de ruimtelijke verdeling te onbetrouwbaar en voor fijn stof en NO₂ zijn de dosis-effect-relaties te onzeker. Het ruimtelijke beeld op de enige overblijvende risicokaart, die van ozon, is zeker niet representatief voor andere stoffen, en kan dus niet als ruwe benadering voor de somkaart worden opgevat.

6 HINDER ALS GEVOLG VAN GELUID EN GEUR

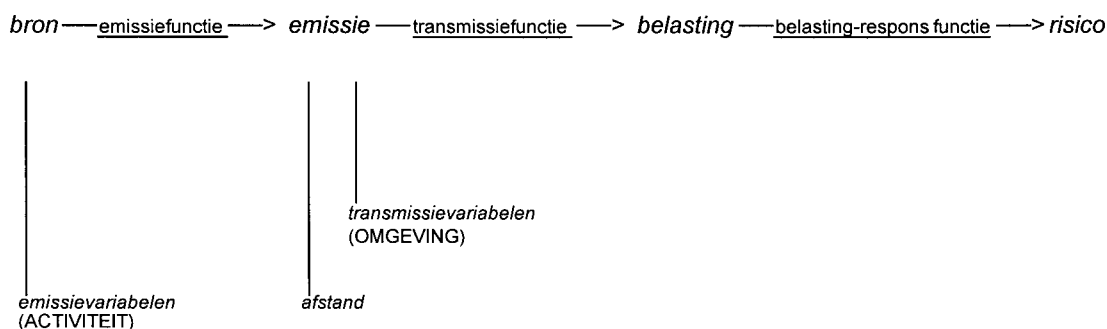
6.1 Inleiding

Binnen het milieubeleid vallen geluid en geur onder het thema verstoring. Het beleid met betrekking tot geluid en geur is gericht op het terugdringen van de daardoor veroorzaakte hinder en, in geval van geluid, ook meer specifiek op het terugdringen van slaapverstoring. Voor geluid en geur van omgevingsbronnen zijn er drempels in de belasting waaronder geen hinder wordt ondervonden. Anders dan bij stoffen echter, liggen maximaal toelaatbare waarden en ook streefwaarden boven deze drempels. Dus, ook indien streefwaarden zouden worden gerealiseerd, treden er nog effecten op. Ten opzichte van effecten van de meeste andere milieuverontreinigingen in Nederland is de kans op hinder door geluid of geur zeer groot. Bijvoorbeeld, locaties met een kans op ernstige hinder groter dan 10 % behoren in Nederland niet tot de uitzonderingen.

6.2 Methoden en aannamen

Er is een grote verscheidenheid aan bronnen van geluid en geur. In dit onderzoek zijn bronnen uit de volgende categorieën beschouwd: bedrijven, wegverkeer, railverkeer en vliegverkeer.

Voor bespreking van de methode die is gevolgd voor het vaststellen van de risicokaarten is het nuttig een oorzaak-gevolg keten voor risico's te schetsen (zie figuur 2). Aan het begin van die keten staan menselijke activiteiten die gepaard kunnen gaan met ingrepen in het milieu. De mate waarin daarbij emissies van geluid of geur optreden, hangt af van kenmerken van die activiteit, zoals bijvoorbeeld de verkeersintensiteit of het bedrijfstype. De relatie tussen enerzijds kenmerken van een activiteit of bron en anderzijds emissies wordt beschreven met een 'emissiefunctie'. De kenmerken van een activiteit of bron waarvan de emissie volgens deze beschrijving afhangt, duiden we aan als 'emissievariabelen'.



Figuur 2 Oorzaak-gevolg keten met een schematische weergave van de stappen die in het systeem worden doorlopen. In het schema zijn variabelen cursief weergegeven en relaties tussen variabelen zijn onderstreept. De onder de keten aangegeven emissie- en transmissievariabelen zijn input variabelen. In plaats van 'transmissievariabele' wordt voor geur ook de aanduiding 'verspreidingsvariabele' gebruikt. De belasting of het risico bij een gegeven afstand (en richting) zijn doorgaans de outputvariabelen.

De belasting rond een bron hangt behalve van de emissie ook af van kenmerken van de omgeving van de bron in ruime zin (inclusief meteorologische omstandigheden). De belasting op een willekeurige plaats in de omgeving van een bron is met transmissie- of verspreidingsmodellen berekend. De relatie tussen enerzijds emissie, afstand tot de bron en omgevingskenmerken en, anderzijds, de belasting wordt beschreven met een 'transmissie-functie'. De kenmerken van de omgeving die volgens deze beschrijving, naast emissie en afstand, de belasting bepalen, worden aangeduid als transmissievariabelen. Uit de belasting kan tenslotte een risico worden afgeleid, in het geval van geluid en geur de mate van ondervonden hinder. De relatie tussen belasting en risico wordt beschreven met een 'belasting-respons functie'.

Om voor de relevante bronnen aan de hand van geschetste oorzaak-gevolg keten risicokaarten te kunnen vaststellen is een systeem ontwikkeld dat conceptueel bestaat uit databestanden en rekenprocedures. Voor zover de inputvariabelen (zie figuur 2: emissie- en transmissievariabelen) ruimtelijke variatie vertonen, worden databestanden met de waarden van deze variabelen, gekoppeld aan ruimtelijke coördinaten, in het systeem opgenomen. In feite is de mogelijkheid om dergelijke variabelen in het systeem op te nemen in belangrijke mate afhankelijk van de beschikbaarheid van een landelijk databestand. De functies die de schakels vormen tussen de verschillende variabelen in de oorzaak-gevolg keten (zie figuur 2: emissiefuncties, transmissiefuncties en belasting-respons functies), zijn in het systeem opgenomen als rekenprocedures.

Om de belasting in kaart te brengen wordt voor geluid het L_{etm} (in dB(A)) bepaald en voor geur C_{98} (in ge.m^{-3}). Voor verschillende bronnen van geluid en geur zijn deze belastingmaten vervolgens omgerekend naar de MKM (= *milieukwaliteitsmaat*). Dit is de L_{etm} waarde van wegverkeer (niet-snelweg) die evenveel hinder zou veroorzaken als een gegeven geluid- en/of geurbelasting. De MKM-waarde voor enkelvoudige geluid- of geurbelastingen wordt afgeleid aan de hand van empirisch vastgestelde relaties tussen belasting en hinder [Mi92a, Mi92b]. Aan de hand van de relatie tussen L_{etm} en gemiddelde hinder voor een gegeven type belasting wordt vastgesteld wat de verwachte hinder is, waarna aan de hand van de relatie tussen L_{etm} en hinder voor wegverkeer (niet-snelweg) wordt vastgesteld welk L_{etm} van dit wegverkeer dezelfde hinder oplevert. Ook voor combinaties van meer geluidbelastingen en geurbelastingen kan de MKM worden vastgesteld. Ook dan is de MKM gelijk aan de L_{etm} waarde van wegverkeer (niet-snelweg) die evenveel hinder zou veroorzaken, in dit geval als de onderhavige combinatie van geluid- en/of geurbelastingen.

Door gebruik te maken van de relatie voor wegverkeer (niet-snelweg) tussen L_{etm} en het percentage gehinderden zijn MKM-waarden omgerekend naar kans op hinder.

6.3 Risicokaarten

6.3.1 Algemeen

Voor bedrijven, wegverkeer, railverkeer en vliegverkeer zijn afzonderlijk berekeningen per 100 x 100 m gemaakt van de kans dat zij daar geluidhinder veroorzaken en er is een dergelijke berekening gemaakt voor de combinatie van deze bronnen. Elke kaart met het resultaat per type bron of voor de combinatie is hierna apart besproken. Daarbij ligt de nadruk op een korte aanduiding van de beperkingen die bij de interpretatie van belang zijn. De kaarten zijn afkomstig uit het project Landelijk Beeld Verstoring en moeten worden beschouwd als

'voorlopig' (concept juni 1996). Ten tijde van het gereedkomen van het voorliggende rapport hadden de inspanningen in het project Landelijk Beeld Verstoring nog niet geleid tot bruikbare kaarten voor het agens geur. Besloten is om desondanks de beschrijving van de toe te passen methoden in het achtergronddocument te handhaven. De definitieve resultaten van het project Landelijk Beeld Verstoring zijn dit najaar te verwachten.

6.3.2 *Bedrijven*

De gegevens op grond waarvan de geluidbelasting rond bedrijven geschat moest worden, zijn beperkt. Er is een generieke benadering gevolgd, waarbij per type bedrijf of bedrijfstak een bepaalde geluidemissie is verondersteld. Dit laat de soms aanzienlijk variatie tussen bedrijven van hetzelfde type buiten beschouwing. Bij de interpretatie van kaart V-1 met geluidhinder door bedrijven dient dit in het oog te worden gehouden. Op het moment wordt eraan gewerkt om een categorie belangrijke geluidveroorzakers, de zogenaamde A-inrichtingen, individueel en nauwkeuriger in beeld de brengen.

6.3.3 *Wegverkeer*

Voor wegverkeer zijn in kaart V-2 alleen de hoofdwegen en belangrijkste overige wegen in beeld gebracht. Omdat gegevens over andere wegen onvoldoende zijn, kunnen deze niet worden opgenomen. Dientengevolge is het beeld voor geluidhinder door wegverkeer in werkelijkheid aanzienlijk ongunstiger dan de kaart laat zien.

6.3.4 *Railverkeer*

Van de hier opgenomen kaarten over geluidhinder is kaart V-3 voor railverkeer het meest compleet en accuraat. De kaarten voor wegverkeer en vliegverkeer zijn minder compleet, die voor bedrijven is minder accuraat. Opgemerkt kan worden dat rangeertereinen niet zijn opgenomen bij railverkeer, maar in de kaart voor bedrijven.

6.3.5 *Vliegverkeer*

Voor vliegverkeer geldt eenzelfde kanttekening als voor wegverkeer, namelijk dat momenteel niet alle bijdragen aan de totale geluidbelasting door vliegverkeer in beeld kunnen worden gebracht (kaart V-4). In het beeld is het geluid verdisconteerd van startende en landende vliegtuigen (inclusief straaljagers en helicopters). Niet opgenomen zijn bijvoorbeeld het geluid van laagvliegende straaljagers en helicopters, het geluid van overvluchten van (kleine) vliegtuigen (zonder start of landing) en het geluid van *ultra light* vliegtuigen (ULV's).

Daarnaast geldt voor vliegverkeer dat de belastingen ten gevolge van starts en landingen niet volledig in beeld kunnen worden gebracht. Buiten het gebied rond Schiphol waar de kans op hinder ligt tussen 0,20 en 0,40, zou nog een aanzienlijk gebied ingekleurd moeten worden waar de kans ligt tussen 0,01 en 0,20. Voor de luchthavens bij Rotterdam en Maastricht, en voor de militaire terreinen ontbreekt ook de informatie om het gebied met een kans op geluidhinder tussen 0,20 en 0,40 in te kleuren.

Om bovengenoemde twee redenen geldt voor vliegverkeer net als voor wegverkeer dat het werkelijke beeld aanzienlijk ongunstiger is dan het getoonde beeld.

6.3.6 *Somkaart geluid*

De kanttekeningen die in paragraaf 6.3.2 zijn gemaakt ten aanzien van de kaarten voor wegverkeer, vliegverkeer en bedrijven gelden ook voor de somkaart (kaart V-5) waarin de geluidhinder van deze bronnen tezamen met die van treinen in beeld is gebracht. Daarnaast zijn er belangrijke bronnen, zoals bouw- en sloopactiviteiten, laden en lossen, schiettereinen enz., die in het geheel niet zijn meegenomen. Bovengenoemde twee zaken betekenen dat de kans op geluidhinder op een punt in Nederland over het algemeen aanzienlijk groter is dan uit de kaart kan worden afgelezen.

7 TOTAALBEELD, DISCUSSIE EN CONCLUSIES

7.1 Inleiding: cumuleren van milieurisico's

Het milieubeleid in Nederland kent twee sporen, het brongerichte en effectgerichte milieubeleid. De risicobenadering vormt de grondslag voor het effectgerichte beleid en geeft de maatlat om de nadelige effecten van milieubelasting te kunnen vaststellen (risicoanalyse). Vervolgens vindt toetsing plaats aan risicogrenzen (normstelling). Aldus de notitie Omgaan met risico's [OMR89]. De risicobenadering wordt in de praktijk dus verdeeld in twee stappen: het *berekenen* van risico's en het *beoordelen* van risico's. Het onderzoek beschreven in het voorliggende rapport blijft beperkt tot alleen de eerste stap.

De aanleiding voor het onderzoek wordt gevormd door de constatering dat er in Nederland geografische verschillen in gezondheid van de mens bestaan. De vraag is in hoeverre milieufactoren hierin een rol spelen en of er bijvoorbeeld correlaties bestaan tussen de geografische verschillen in gezondheid en geografische verschillen in berekende risico's als gevolg van milieufactoren. Deze vragen hebben tot de volgende doelstelling van dit onderdeel van het totale project 'Cumulatie van milieurisico's' geleid: enerzijds het ontwikkelen van instrumentarium waarmee risico's in kaart kunnen worden gebracht en anderzijds het in kaart brengen van de afzonderlijke en gecumuleerde risico's in Nederlands als gevolg van externe veiligheid, straling, stoffen, geluid en geur.

Het probleemveld rond 'cumulatie van milieurisico's' is in het onderhavige onderzoek als volgt ontleed. Menselijke activiteiten zorgen ervoor dat bronnen agentia (of *precursors*) produceren die uiteindelijk aanleiding geven tot effecten op de gezondheid van mensen. Met andere woorden, menselijke activiteiten brengen risico's voor de mens met zich mee. De effecten komen tot stand via een complex geheel van samenhangende oorzaak-gevolg-relaties. Zo kan één bron meer dan één agens produceren en kunnen meer bronnen hetzelfde agens produceren. Eén agens kan tot meer dan één effect leiden en meer agentia kunnen tot hetzelfde effect leiden. Eén effect kan bij meer dan één mens optreden en meer effecten kunnen bij dezelfde mens optreden. Verspreiding van en blootstelling aan een agens kan plaatsvinden via diverse milieucompartimenten en blootstellingsroutes. Tenslotte is een goed begrip van kans-, tijd- en ruimte-aspecten essentieel. Om praktische redenen is in het onderzoek een (beperkte) deelverzameling van het totale probleemveld gekozen: de nadruk ligt op het in kaart brengen van het risico voor de gezondheid van de mens.

7.2 Gebruikte methoden

De eerste vraag die beantwoord diende te worden is de volgende: voor welke mens worden de risico's in kaart gebracht? De risicobenadering gaat uit van het risico voor de individuele mens; hiermee wordt overigens niet elk afzonderlijk (werkelijk) individu bedoeld. In het projectteam is uitvoerig gediscussieerd over de eigenschappen van de individuele mens, en vooral over het onderscheid tussen een gemiddelde mens met over de Nederlandse bevolking gemiddelde eigenschappen en een 'standaard' mens met over de Nederlandse bevolking gedistribueerde eigenschappen; zo'n niet bestaande 'standaard' mens heeft voor een (klein) deel van de tijd bijvoorbeeld ook meer extreme eigenschappen. Uiteindelijk is ervoor gekozen om de 'sectorale' definities te hanteren, ofwel die definities die normaal gesproken worden gehanteerd in de afzonderlijke (beleids)terreinen (externe veiligheid, straling, stoffen, geluid en geur). Met als gevolg dat bijvoorbeeld een kans op sterfte van 10^{-6} per jaar als gevolg van

blootstelling aan een bron van straling niet hetzelfde is als een kans op sterfte van 10^{-6} per jaar als gevolg van blootstelling aan een carcinogene stof. De verschillen in aannamen betreffen vooral de blootstelling, die veelal is verwerkt in de concentratie-effect/respons-relaties.

De volgende vraag is of er potentiële of actuele risico's moeten worden berekend. Berekenen van actuele risico's vergt gedetailleerde gegevens over bevolkingsdichtheden, en bovendien over verblijftijden en activiteiten van mensen in een zeker kaartvierkant. Het is onmogelijk om van elk individu vast te stellen hoe lang en hoe vaak deze zich gedurende een heel jaar bevindt in een zeker kaartvierkant. De gezondheidseffecten die zo'n individu ondervindt zijn bovendien een sommering van de blootstellingen die deze persoon 'verzamelt' in de kaartvierkanten die gedurende dat jaar worden 'bezoekt'. Daarom is in het onderhavige onderzoek de individuele mens in een kaartvierkant 'vastgeprikt': de individuele mens bevindt zich 24 uur per dag gedurende een heel jaar in het betreffende kaartvierkant van 500 bij 500 m. Er is dus gekozen voor het in kaart brengen van potentiële risico's.

Voor de verschillende beschouwde agentia zijn de volgende risico-definities en aggregatieniveaus gehanteerd. Per groep is aangegeven hoe de bijdragen uit het buitenland aan het risico in Nederland in rekening zijn gebracht.

1 Externe veiligheid

Het risico is uitgedrukt in de kans op acute sterfte per jaar (per bron) als gevolg van mogelijke ongevallen met die bron in dat jaar. De risico's als gevolg van twee dichtbij elkaar gelegen bronnen zijn sommeerbaar, dus de somkaart bestaat uit een eenvoudige sommatie van alle afzonderlijke kaarten per bron. Bijdragen uit het buitenland zijn niet in kaart gebracht, enerzijds omdat het beleid zich richt op Nederlandse bronnen en anderzijds omdat de reikwijdte van de risico-contouren beperkt is tot enkele kilometers.

2 Straling

Het risico is uitgedrukt in de kans op sterfte per jaar (per bron) als gevolg van blootstelling aan straling rechtstreeks afkomstig van de bron zelf en afkomstig van door de bron geëmitteerde radioactieve stoffen. Net als voor externe veiligheid geldt voor straling dat de risico's van twee dichtbij elkaar liggende bronnen kunnen worden gesommeerd. Voor enkele bron-categorieën zijn de kaarten gesommeerd voor alle bronnen in die categorie. De somkaart bestaat uit een sommatie van alle bronnen. Bijdragen uit het buitenland zijn niet in kaart gebracht, vooral omdat het beleid zich richt op Nederlandse bronnen.

3 Stoffen die tot sterfte leiden

Het risico is uitgedrukt in de kans op sterfte per jaar (per stof) als gevolg van alle bronnen tezamen. Met uitzondering van fijn stof is voor alle beschouwde carcinogene stoffen een onderscheid gemaakt tussen de concentraties in Nederland afkomstig van buitenlandse bronnen en die afkomstig van binnenlandse bronnen. Voor elke stof is een risicokaart vervaardigd van alleen de binnenlandse bronnen en van het totaal van binnen- en buitenlandse bronnen. De somkaart van alle stoffen samen bestaat uit een eenvoudige sommatie van de kaarten per stof.

4 Overige stoffen die niet tot sterfte leiden

Het risico is uitgedrukt in de gemiddelde (over de tijd) te verwachten fractie van de individuen in het kaartvierkant dat het afzonderlijke effect vertoont als gevolg van alle bronnen tezamen. In tegenstelling tot de gevolgde procedure bij de carcinogene stoffen is geen onderscheid gemaakt tussen de concentraties in Nederland afkomstig van buitenlandse bronnen en die afkomstig van binnenlandse bronnen. Voor ozon en NO₂ is dit niet mogelijk omdat deze stoffen ook door omzettingen in de atmosfeer ontstaan. Bovendien is het voor de stoffen H₂S en ozon niet mogelijk om onderscheid te maken tussen de bijdragen die wel en niet door menselijk handelen zijn toegevoegd. Daarbij komt nog dat het verband tussen de concentratie en het risico niet lineair is: de som van de 'risicokaart binnenlandse bronnen' en de 'risicokaart buitenlandse bronnen' is daardoor niet gelijk aan de 'risicokaart binnen- plus buitenlandse bronnen'. Er is daarom gekozen om alleen de laatste weer te geven. De vier onderscheiden effecten (luchtwegsymptomen, reversibele longfunctiedaling, neusirritatie en oogirritatie) worden allemaal als even ernstig beschouwd en zijn daarom eenvoudigweg optelbaar. Ernstiger effecten, zoals ziekenhuisopnamen, ten gevolge van fijn stof zijn niet in een risicokaart opgenomen omdat de concentratiekaart voor fijn stof niet betrouwbaar genoeg werd geacht.

5 Geluid

Het 'risico' is uitgedrukt in de voor een receptorpunt in een kaartvierkant van 100 bij 100 m berekende kans op hinder als gevolg van geluid afkomstig van alle bronnen in een bepaalde categorie. De somkaart geeft de kans op hinder voor de geluidbelasting ten gevolge van alle beschouwde broncategorieën. Bijdragen uit het buitenland zijn niet beschouwd, omdat de reikwijdte van geluid beperkt is.

Uiteindelijk is een aggregatie uitgevoerd van de 'somkaart stoffen' met de 'somkaart straling' tot een 'somkaart straling en stoffen'. Een verdere aggregatie dan de vier somkaarten, te weten 'sterfte externe veiligheid', 'sterfte straling en stoffen', 'overige gezondheidseffecten ozon' en 'hinder geluid' is niet uitgevoerd. Redenen daarvoor zijn enerzijds wetenschappelijk en anderzijds beleidsmatig van aard. De Gezondheidsraad acht het niet mogelijk om op een empirische-natuurwetenschappelijke of medische basis voor hinder, ziekte en sterfte één schaal te construeren voor gezondheidsschade of -risico [GR95b]. Het onderling waarden van bijvoorbeeld dood en ziekte is een politiek-maatschappelijke afweging.

7.3 Somkaarten voor sterfte, overige gezondheidseffecten en hinder

Het onderzoek heeft een groot aantal kaarten opgeleverd. Het hoogste aggregatieniveau wordt vertegenwoordigd door de somkaarten 'sterfte externe veiligheid' (kaart I-2), 'sterfte straling en stoffen' (kaart VI-1), 'gezondheidseffecten ozon' (kaart IV-1) en 'hinder geluid' (kaart V-5). Deze somkaarten tonen hoe de 'risico's' geografisch zijn verdeeld over het land. De risico's zijn achtereenvolgens uitgedrukt in de 'kans op overlijden', de 'kans op overige gezondheidseffecten' en de 'kans op hinder'.

Om de kaarten in een bredere context te plaatsen is in tabel 3 per relevant agens, bron of stof aangegeven of er wel of niet een kaart is gemaakt, en of er wel of niet een schatting van het risico is gemaakt. Als er een schatting van het risico is gemaakt, dan zijn ook de minimale en de maximale risico's in Nederland met 'staafjes' in de tabel opgenomen. Voor externe veiligheid en geluid is het minimale ergens in Nederland voorkomende (kans op overlijden

Tabel 3 Overzicht van wel en niet in kaart gebrachte bronnen en stoffen met typische waarden voor het risico. Hoewel geplaatst langs dezelfde risico-schaal, zijn de drie typen risico's (kans op overlijden, kans op overige gezondheidseffecten en kans op hinder) zeer verschillend gedefinieerd en daarom met verschillende 'grijstinten' weergegeven (de 'witte, gestippelde staaffjes' geven slechts een orde van grootte: deze schattingen zijn omgeven met grote onzekerheden; zie de tekst).

agens	bron / stof	risicokaart: risicoschatting:	ja	nee	nee	risico (per jaar)									
			ja	ja	nee	<10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁹	10 ⁻⁸	10 ⁻⁷	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹
KANS OP OVERLIJDEN															
EV	Schiphol		x												
	EVR-plichtige bedrijven		x												
	rangeeremplacementen		x												
	pijpleidingen - aardgas		x												
	vliegverkeer (excl. Schiphol)				x										
	LPG-stations				x										
	NH ₃ -koelinstallaties				x										
	chemicaliën- en explosieven-opslagen				x										
	watertransport				x										
	railtransport				x										
pijpleidingen - olie, LPG, diverse chemicaliën				x											
straling	bouwen en wonen - radon			x											
	bouwen en wonen - bouwmaterialen			x											
	overige bronnen - UV			x											
	consumentenproducten			x											
	nucleaire installaties - mogelijke ongevallen		x												
	mogelijke ongevallen Europese kerncentrales			x											
	niet-nucleaire industrie - luchtlozingen		x												
	niet-nucleaire industrie - waterlozingen			x											
	nucleaire installaties (excl. ongevallen)		x												
	radionuclidenlaboratoria (en 'patienten')			x											
	ingekapselde bronnen en toestellen				x										
	transport radioactieve bronnen en afval				x										
	opslag radioactief afval				x										
stoffen (sterfte)	fijn stof			x											
	benzo(a)pyreen		x												
	benzeen		x												
	ethyleenoxide		x												
	vinylchloride		x												
	1,2-dichloorethaan		x												
	acrylonitril		x												
andere stoffen (die tot sterfte leiden)			x												
KANS OP OVERIGE GEZONDHEIDSEFFECTEN															
stoffen (overige effecten)	NO ₂		(x)												
	ozon		x												
	acroleïne			x											
	H ₂ S			x											
	andere stoffen (met overige effecten)				x										
KANS OP HINDER															
geluid	bedrijven		x												
	vliegverkeer		x												
	railverkeer		x												
	wegverkeer		x												
	andere bronnen			x											

en kans op hinder) als gevolg van de beschouwde bronnen strikt genomen gelijk aan nul; de ondergrens geeft in die gevallen aan voor welke orde van grootte van het risico nog een uitspraak wordt gedaan. De risico's in de kaarten zijn daarmee in één oogopslag zowel onderling als met het basisrisico te vergelijken.

Het geografische beeld van de risico's verschilt sterk tussen enerzijds externe veiligheid en geluid en anderzijds straling en stoffen. De kaarten voor externe veiligheid en geluid tonen zeer lokaal hoge risico's; daarnaast zijn er gebieden waar het risico gelijk is aan nul: namelijk die gebieden waar zich geen gevaren- en/of geluid-bronnen bevinden. Vooral voor geluid is het werkelijke 'schone' gebied veel beperkter dan de hier opgenomen kaarten tonen, omdat bij gebrek aan informatie een significant deel van de belasting niet kon worden berekend. Ruimtelijk samenvallen van de externe veiligheidsrisico's treedt nauwelijks op. Een uitzondering vormt het Rijnmond-gebied (zie kaart VII-1). Voor geluid treedt ruimtelijk samenvallen vooral op nabij knooppunten van transportwegen en nabij (grote) vliegvelden. De risico's als gevolg van straling en stoffen daarentegen strekken zich uit over grote delen van Nederland, met lokaal verhogingen rond grote (industriële) bronnen. Risicoverhogingen op zeer lokale schaal, zoals die nabij wegverkeer, waar verhogingen voor stoffen en geluid samenvallen, komen door de middeling over een kaartvierkant in de kaarten nauwelijks tot uitdrukking.

Het beeld dat de diverse somkaarten tonen, wordt veelal door hetzij één bron of broncategorie hetzij één stof gedomineerd. Schiphol is de grootste bron van externe-veiligheidsrisico's, een fosfor-fabriek in Zeeland domineert de somkaart straling (kaart II-4a) en benzo(a)pyreen domineert de somkaart voor sterfte als gevolg van stoffen (let wel, de risico's als gevolg van fijn stof en radon, die niet in kaart zijn gebracht, worden geacht hoger te zijn).

Een vergelijking in absolute zin van de somkaarten is niet mogelijk. Een vergelijking tussen kans op overlijden, kans op overige gezondheidseffecten en kans op hinder vergt een oordeel over onderlinge ernst. Het is wel mogelijk om uitspraken te doen over het geografisch samenvallen van de diverse risico's. Voorbeelden van dit geografisch samenvallen zijn de volgende. In Rotterdam valt een verhoging ten opzichte van de meer landelijke gebieden in bijvoorbeeld Noord-Nederland van de kans op overlijden als gevolg van stoffen (vooral benzo(a)pyreen) samen met externe-veiligheidsrisico's (kaarten VII-1 en VII-4). Voor de omgeving Schiphol is er sprake van een sterke verhoging van zowel de kans op overlijden als gevolg van externe veiligheid als de kans op hinder als gevolg van geluid.

De vraag is hoe compleet het totaalbeeld is dat door de kaarten wordt getoond. Risico's die nog in de kaarten ontbreken zijn de externe-veiligheidsrisico's van bronnen als LPG-stations, NH₃-koelinstallaties, en vervoer over weg, rail en water, de risico's als gevolg van radon in woningen, de risico's als gevolg van fijn stof, de hinder als gevolg van geluid in binnensteden en de hinder als gevolg van geur.

7.4 Kritische kanttekeningen bij gegevens, methoden en resultaten

In paragraaf 7.1 is reeds een aantal kanttekeningen geplaatst bij het uitgevoerde onderzoek die voortvloeien uit noodgedwongen gemaakte vereenvoudigingen. De volgende belangrijke kanttekeningen moeten bij de kaarten worden geplaatst.

1 Brongegevens

Onder brongegevens wordt hier verstaan de gegevens waarvan is uitgegaan in de berekeningen van concentratieverdelingen en belastingen in Nederland. Daartoe behoren de exacte locaties van de bronnen, andere bronkarakteristieken zoals pijphoogte, warmteinhoud, e.d. en gegevens over de emissies. De niet-beschikbaarheid en de onvoldoende kwaliteit van deze basisgegevens was diverse malen reden om bronnen en broncategorieën weg te laten (zie tabel 3). Zo ontbreken diverse bronnen externe veiligheid (LPG-stations, NH₃-koelinstallaties, vervoer over water e.d.) en straling (ingekapselde bronnen en toestellen, radon in woningen). Voor geluid ontbreken in het bijzonder gegevens betreffende niet-snelwegverkeer.

2 Methoden en modellen

De toegepaste methoden en modellen bevatten onzekerheden en vereenvoudigingen. Het is maar ten dele bekend welke de meest gevoelige parameters in bijvoorbeeld verspreidingsmodellen zijn. Voor fijn stof ontbreken de benodigde brongegevens om concentratieverschillen op een schaal van 500 bij 500 m te berekenen.

Voor de beschouwde stoffen die tot sterfte leiden, zijn er onzekerheden in de omrekening van concentraties naar risico's. Voor benzeen bestaat er een factor 100 verschil (in omrekeningsfactor) tussen inschattingen van RIVM en Gezondheidsraad (zie paragraaf 5.2.4 van het achtergronddocument). Ook bij de lineariteit van de dosis-effect/respons-relaties zijn kanttekeningen te plaatsen.

Voor de in dit onderzoek beschouwde stoffen die niet tot sterfte leiden, zijn er (grote) onzekerheden in de concentratie-respons/effect-relaties. Dit geldt vooral voor de extrapolatie naar het gebied van lage concentraties zoals ze in de buitenlucht voorkomen. Ook de aannamen in blootstelling bevatten (soms onbekende) onzekerheden. Eén van de daarbij belangrijke factoren is verblijf binnenshuis: voor sommige agentia is het risico berekend alsof de mens 24 uur per dag buiten is.

3 Resultaten

De hiervoor genoemde onzekerheden en verschillen in gemaakte aannamen hebben onvermijdelijk (grote) invloed op de resultaten van het onderzoek. Bij verder toepassen van de resultaten (zowel voor wetenschappelijke als beleidsmatige doeleinden) dienen altijd de kanttekeningen bij de kaarten in acht te worden genomen.

7.5 Conclusies en aanbevelingen

De vraagstelling van het onderzoek was enerzijds hoe diverse typen risico's kunnen worden gesommeerd en anderzijds hoe de afzonderlijke en gecumuleerde risico's over Nederland zijn verdeeld. Hoewel er onzekerheden bestaan in de toegepaste methoden en (model-)aannamen en hoewel het beeld nog niet compleet is als gevolg van ontbreken van basisgegevens van voldoende kwaliteit, is de tweede vraag grotendeels beantwoord (zie de kaarten en de bijbehorende beschrijvingen). De eerste vraag is gedeeltelijk beantwoord. Door de emissies via verspreiding en blootstelling door te rekenen tot en met het gezondheidseffect voor de mens (uitgedrukt in de kans per jaar op optreden van een gegeven effect) én door het hanteren van niet-conflicterende aannamen worden vergelijkbare risico's berekend. Voor het bij elkaar tellen

van twee diverse typen risico's, die op verschillende uiteindelijke effecten betrekking hebben, dient een oordeel te worden gegeven over de onderlinge ernst van de betreffende effecten (hetgeen buiten deze studie valt).

De vraag is of de laatste fase van het complete project Cumulatie van milieurisico's (het relateren van gezondheidsverschillen aan het berekende risico) kan worden uitgevoerd. Er zijn namelijk vele andere factoren (anders dan 'milieufactoren') van invloed op de gezondheid van de mens, zoals genetische aanleg, gedrag, woonomgeving, blootstelling tijdens het werk, sociaal economische status e.d. Met uitzondering van externe veiligheid (acute dood) en geluid (hinder) zijn de gezondheidseffecten meestal niet oorzakelijk in verband te brengen met de milieufactoren. Een tweede feit is dat de risicokaarten een eigenschap van de locatie tonen. Dat wil zeggen dat het getoonde risico gebonden is aan een locatie, en niet aan een persoon of groep van personen. De receptor van de gevolgen (het effect) van de milieuverontreiniging is de mens, maar deze mens is niet 'vastgeprikt' op één locatie. Het leggen van een *link* tussen enerzijds de risicokaarten en anderzijds de kaart met gemeten effecten in de bevolking, vergt dus eerst een uitgebreid onderzoek naar hoe de deelverzameling van de bevolking waarin is gemeten zich door het 'risico-landschap' heeft bewogen (blootstellingsonderzoek). Een derde probleem is dat veel van de onderzochte risico's zich niet zichtbaar manifesteren in het beschouwde jaar 1992. Voor sterfte door kanker als gevolg van straling en stoffen bedraagt het tijdverloop tussen blootstelling en optreden van kanker vele jaren. Alleen als zou kunnen worden verondersteld dat de bevolking gedurende deze periode op dezelfde locatie heeft gewoond en dat de niveaus in de voorafgaande jaren (ongeveer) gelijk zijn gebleven, zou een epidemiologisch verband kunnen worden gelegd.

De resultaten geven in ieder geval inzicht in onderlinge verhoudingen voor zover het vergelijkbare risico's betreft (kans op overlijden). Het niet beschikbaar zijn van basisgegevens van voldoende kwaliteit (vooral van voldoende geografisch detail) staat toepassing van het instrumentarium op de lokale schaal in de weg. Dit verdient verdere uitwerking. In paragraaf 5.1 is al vermeld dat bij de keuze van de stoffen de landelijke schaal centraal heeft gestaan; op een lokaal niveau zou het kunnen voorkomen dat daar (ook) andere stoffen belangrijk zijn. In paragraaf 4.7 van het achtergronddocument is een methode beschreven waarmee de lokale schaal in kaart zou kunnen worden gebracht. Er bestaan plannen om deze methode in een vervolgonderzoek in een praktijkvoorbeeld te toetsen.

De geschatte gezondheidsrisico's van stoffen die ontstaan ten gevolge van complexe reacties in de atmosfeer (fijn stof en ozon) vertonen een veel geringere variatie over Nederland dan de stoffen die leiden tot een kans op overlijden en die meestal worden geëmitteerd door gelokaliseerde bronnen.

Uit het onderzoek blijkt dat het hanteren van het risico-quotiënt (in werkelijkheid te verwachten maximale concentratie gedeeld door een grenswaarde) niet automatisch een goede maat is voor het 'werkelijke' gezondheidsrisico. Acroleïne en H₂S scoren bijvoorbeeld hoog op het risico-quotiënt; uit de berekeningen blijken de 'werkelijke' risico's zeer laag te zijn. Dit vindt zijn oorzaak in het feit dat sommige grenswaarden vanuit preventief oogpunt zijn afgeleid. Als gevolg daarvan leidt blootstelling aan een concentratie in de buurt van deze grenswaarde niet automatisch tot een gezondheidsrisico. Als men risicoschattingen voor prioriteitstelling wil gebruiken dan dient te worden uitgegaan van werkelijke risico's. Ter illustratie: de in dit onderzoek berekende risico's als gevolg van fijn stof, benzo(a)pyreen en acrylonitril lopen uiteen van 10⁻³ tot 10⁻¹⁰ per jaar, terwijl het risicoquotiënt voor alle drie de stoffen was geschat

op ongeveer 1 (zie paragraaf 5.1 van het achtergronddocument). Voor het inschatten van gezondheidsrisico's als gevolg van blootstelling aan stoffen is het derhalve noodzakelijk om te kunnen beschikken over goede concentratie-respons/effect-relaties voor de humane populatie.

De bestaande methoden om onvergelykbare gezondheidsrisico's te kunnen cumuleren zijn nog onvoldoende uitgewerkt en geaccepteerd. Indien één risico-indicator voor alle agentia gewenst is dan moeten deze cumulatie-methoden nog verder worden ontwikkeld en getoetst en moet er maatschappelijk draagvlak voor worden verworven.

Het verdient aanbeveling om ontbrekende basisgegevens te verzamelen en de kwaliteit van deze gegevens zo mogelijk te verbeteren. Het introduceren van de 'standaard mens' met verdelingen over ruimte, tijd en populatie geeft de mogelijkheid om natuurlijke variaties in blootstelling en de personen die zich in de 'staarten' van allerlei verdelingen bevinden, in de berekeningen mee te nemen. De omrekening van concentraties naar risico moet via blootstellingsonderzoek en effectenonderzoek worden verbeterd.

Als alternatieve (eenvoudigere) indicatoren voor de problematiek van cumulatie kan worden gedacht aan grootheden zoals het ruimtebeslag, de grootte van de groep werkelijk blootgestelden, het collectieve risico (uitgedrukt in de gezamenlijke kans op overlijden van een te definiëren groep personen) e.d. Deze grootheden kunnen worden berekend door de gegevens in de kaarten te combineren met een gedetailleerd bestand met bevolkingsdichtheden.

REFERENTIES

- Al94 Ale BJM, Pruppers MJM, Definitierapport 'Graadmeters externe veiligheid in de Milieubalans/Milieuverkenning', RIVM-rapportnr. 610066001, 1994.
- AM94 Aanvullend Milieu effectrapport Schiphol en omgeving. 1994.
- Bl91 Blaauboer RO, Vaas LH en Leenhouts HP. Stralingsbelasting in Nederland in 1988. RIVM-rapportnr. 249103001, 1991.
- Bl93 Blaauboer RO, Heling, R. Trends en reductiescenario's voor Rn-222-concentraties in woningen. RIVM-rapportnr. 749231001, 1993.
- Br92 Bresser AHM, Duvoort GL, Meiling K, Korenromp RHJ, Boschloo CM en Eggink GJ. Nader onderzoek milieukeur lichtbronnen, RIVM-rapportnr. 739101001, 1992.
- BR92 Besluit risico's zware ongevallen. Staatsblad 291, 1992.
- BR94 Beleidsstandpunt Radon. Tweede Kamer, 1994.
- BS93 Handleiding 'Beleidsstandpunten stralingshygiëne ten behoeve van vergunningverlening'. Deel I. Reguliere toepassingen. VROM/SVS Straling en Nucleaire Veiligheid, (voorlopige) versie 15 december 1993.
- CO89 COVRA, Locatiegebonden milieu-effect rapport. Verwerking en opslag van radioactief afval. COVRA, 1989.
- CP92 CPR 15-1,2,3 Opslag bestrijdingsmiddelen (Commissie Preventie van Rampen) alsmede circulaire VROM/IBP 03892009 d.d. 31-08-92.
- Ee92 Eendebak BTh, Bakker C en Mheen WAG van der. Brontermen voor Europese kernenergiecentrales. KEMA-rapport 00463-MVV 92-226, Arnhem, 1992.
- GR95a Gezondheidsraad: Commissie Risicomaten en risicobeoordeling. Niet alle risico's zijn gelijk. Den Haag, publikatienr. 1995/06, 1995.
- GR95b Gezondheidsraad: Beraadsgroep Omgevingsfactoren en Gezondheid. Beoordeling van de IVM-milieubelastingsindex. Den Haag, publikatienr. 1995/05, 1995.
- GR96 Gezondheidsraad: Commissie Risicomaten en risicobeoordeling. Risico, meer dan een getal. Den Haag, publikatienr, 1996/03, 1996.
- GS94 Consequentie-onderzoek Risiconormering vervoer gevaarlijke stoffen, Tweede fase. Grontmij i.s.m. SAVE, d.d. 14-06-94.
- Hi90 Hienen J van *et al.* Gevolgen van lozingen bij normaal bedrijf van Nederlandse kerninstallaties. ECN rapport nr. ECN-C-90-015, 1990.
- IM93 Integraal Milieu-effectrapport Schiphol en Omgeving, Externe Veiligheid, Schiphol huidige situatie (1990). NLR, Amsterdam, 1993.
- Ja90 Jaarsveld JA van. An Operational atmospheric transport model for Priority Substances; specification and instructions for use. RIVM-reportno. 222501002, 1990.
- Ja94 Janus JA, Hesse JM en Rikken MGJ (eds.). Aandachtstoffen in het Nederlandse milieubeleid - Overzicht 1994. RIVM-rapportnr. 601014006, 1994.
- Ki95 Kirchner EJJ, Eggink GJ en Pruppers MJM. Niet-ioniserende straling in de gezondheidszorg en effecten op de volksgezondheid. RIVM-rapportnr. 610059002, 1995.
- La93 Lammers PEM, Hanegraaf MC, Aiking H. Cumulatie van Milieurisico's. Fase 1: Probleemverkenning en -analyse. Instituut voor Milieuvraagstukken, Vrije Universiteit van Amsterdam, 1993.

- La94 Laheij GMH, Blaauboer RO en Lembrechts JFFM. Risicoberekening voor in het milieu geloosde radionucliden - Onderbouwing richtlijn voor vergunningen (RIBRON). RIVM-rapportnr. 610053001, 1994.
- Le96 Leenhouts HP, Stoop P en Van Tuinen S. Non-nuclear industries in the Netherlands and radiological risks. RIVM-report no. 610053003, March 1996.
- LP84 Integrale Nota LPG, Staatsuitgeverij, 1984.
- MB95 Milieubalans 95. Het Nederlandse milieu verklaard. RIVM, Samsom H.D. Tjeenk Willink bv, Alphen aan den Rijn, 1995.
- ME93 Milieu-effectrapport. Modificaties kernenergie-eenheid centrale Borssele. EPZ ref. Moddoc nr. 063-001. KEMA, Arnhem, 1993.
- ME94 Milieu-effectrapport. Wijzigingen kernenergiecentrale Dodewaard. 94-014/GKN/R. KEMA, Arnhem, 1994.
- Mi92a Miedema HME. Response functions for environmental odour in residential areas. Leiden, NIPG-TNO, rapportnr. 92.006, 1992.
- Mi92b Miedema HME. Response functions for environmental noise in residential areas. Leiden, NIPG-TNO, rapportnr. 92.021, 1992.
- Mi94 Miedema HME, Hout KD van den en Feron VJ. Identificatie van cumulaties van milieuverontreinigingen met gezondheidsrisico's, TNO-PG, rapportnr. 94.036, mei 1994.
- MV91 Nationale Milieuverkenning 2 1990-2010. RIVM, Samsom H.D. Tjeenk Willink bv, 1991.
- MV93 Nationale Milieuverkenning 3 1993-2015. RIVM, Samsom H.D. Tjeenk Willink bv, 1993.
- OMR89 Omgaan met Risico's. Bijlage bij Nationaal Milieubeleidsplan. Tweede Kamer, vergaderjaar 1988-1989, 21137, nr. 5, SDU uitgeverij, Den Haag, 1989.
- ORS90 Omgaan met Risico's van Straling. Tweede Kamer, vergaderjaar 1989-1990, 21483, nr. 2. SDU uitgeverij, Den Haag, 1990.
- PK95 Planologische Kernbeslissing Schiphol en omgeving. (PKB1, 1993) PKB3a, 1995.
- Pr94 Pruppers MJM, Aldenkamp FJ, Blaauboer RO, Eggink GJ en Kwakman PJM. Definitierapport 'Graadmeters straling in de Milieubalans/Milieuverkenning'. RIVM-rapportnr. 610055001, 1994.
- Pu86 Put LW, Meijer RJ de en Veldhuizen A. Radonconcentraties in Nederland. Stralenbeschermingsreeks nr 14. Ministerie van VROM, Leidschendam, 1996.
- Ra92 Ravenzwaaij A van, Groot NH, Worrell CW, Eijndhoven JCM van en Turkenburg WC. Aanvullende criteria ter beperking van maatschappelijke ontwrichting. Vakgroep Natuurwetenschap en Samenleving, Rijksuniversiteit Utrecht, nr. 92001, Utrecht, 1992.
- SI92 Slaper H, Elzen MGJ den, Woerd HJ van der and Greef J de. Ozone depletion and skin cancer incidence: an integrated modelling approach. RIVM-reportno. 749202001, 1992.
- SI93 Slaper H, Eggink GJ and Blaauboer RO. Risks of potential accidents of nuclear power plants in Europe. RIVM-reportno. 743030001, 1993.
- SI94 Slaper H, Reinen HAJM, Bordewijk JA en Schlamann E. Effective Ultraviolet radiation in the Netherlands. RIVM-reportno. 610070002, 1994.
- Va91 Vaas LH, Kal HB, Jong P de en Slooff W. (eds.) Basisdocument Radon. RIVM-rapportnr. 710401014, 1991.
- VR84 Zonering langs hoge druk aardgastransportleidingen, VROM/DGMH/B 0104004, Den Haag, d.d. 26-11-84.

- VR93 Omgaan met de risico's van straling: de financiële gevolgen van het overheidsbeleid. VROM-rapportnr. SVS 1993/12, 1993.
- VR94a Brief van de minister van VROM aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal. DGM/SVS/02594010 dd 13-06-94.
- VR94b VROM/RIVM. Gezondheidsrisico's bij cumulatieve milieubelasting: perspectieven voor geïntegreerd risicobeleid. Verslag van een workshop in het kader van het onderzoekprogramma "Mens & Milieu", Congrescentrum "Euroase" Amersfoort, 11 - 12 januari 1994.
- We94 Weterings RAPM en Molag M. Cumulatie van Milieurisico's: naar een kansrijke aanpak. TNO-rapport STB/94/23, 1994.

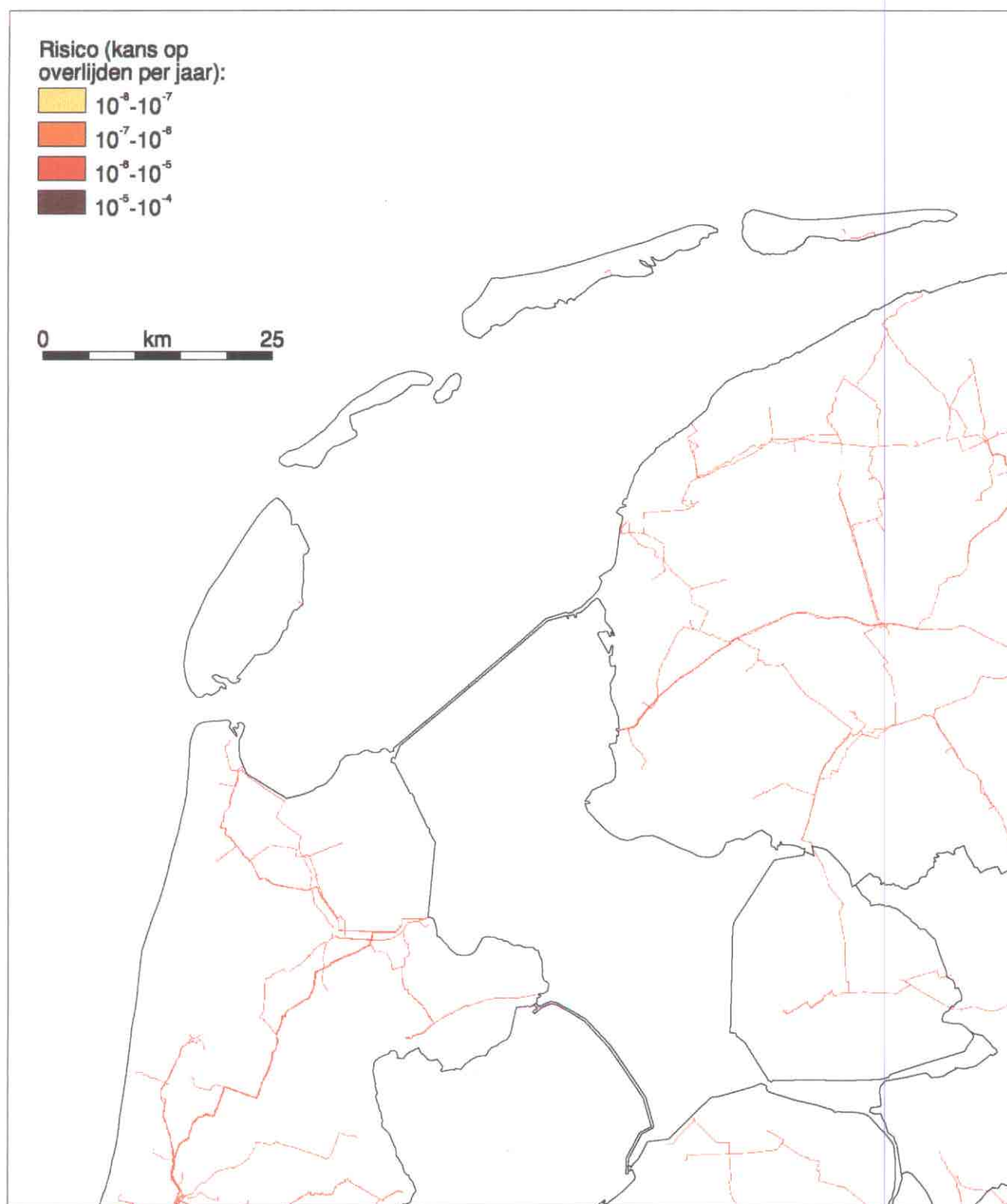
BIJLAGE RISICOKAARTEN

Toelichting:

Elke kleur heeft altijd dezelfde betekenis

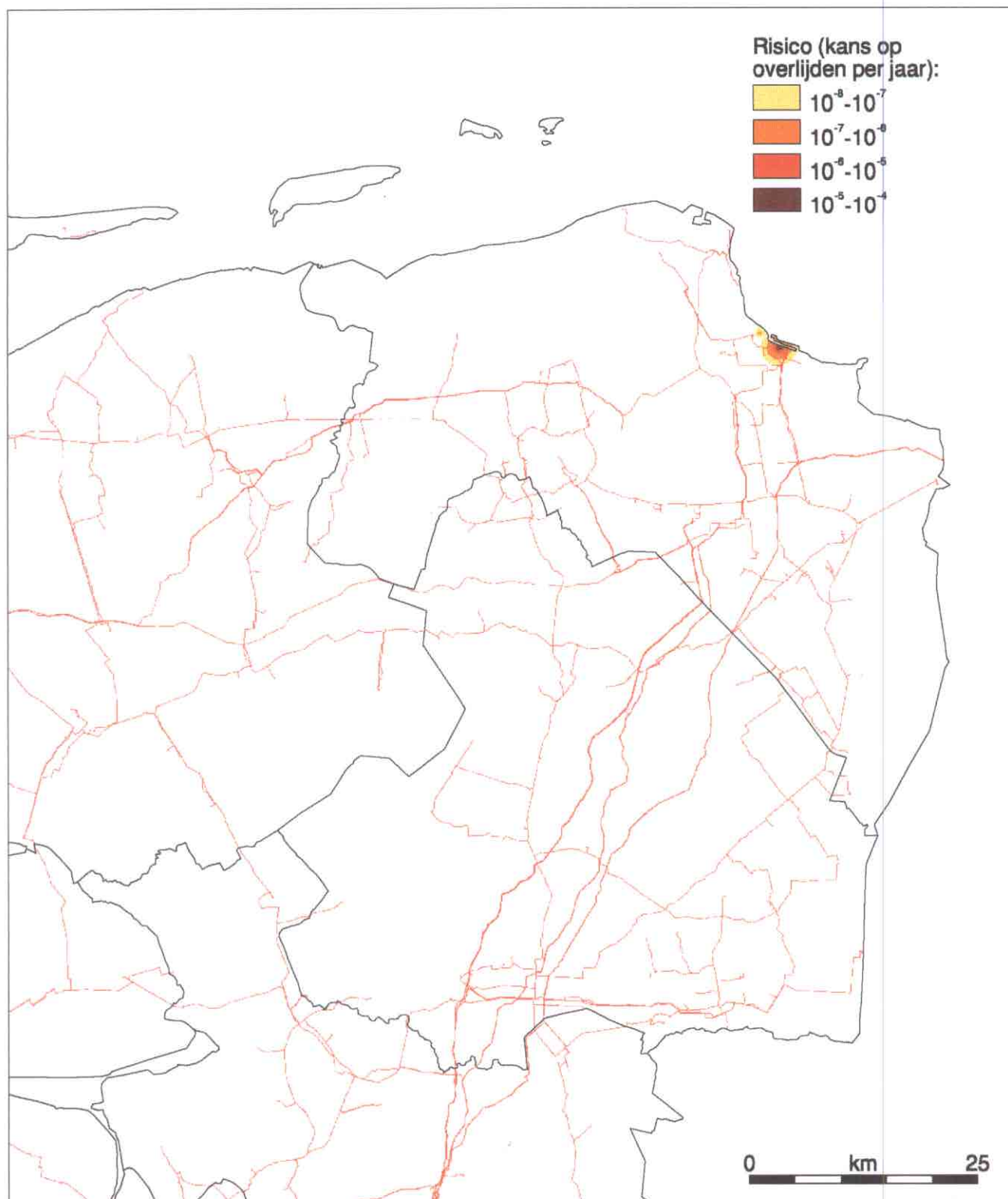
- *kans op overlijden: geel/rood,*
- *kans op overige gezondheidseffecten: paars, en*
- *kans op hinder: blauw.*

Bij afwijkingen (bijvoorbeeld een concentratiekaart, of bij afwijkende klassegrenzen) zijn grijstinten toegepast.



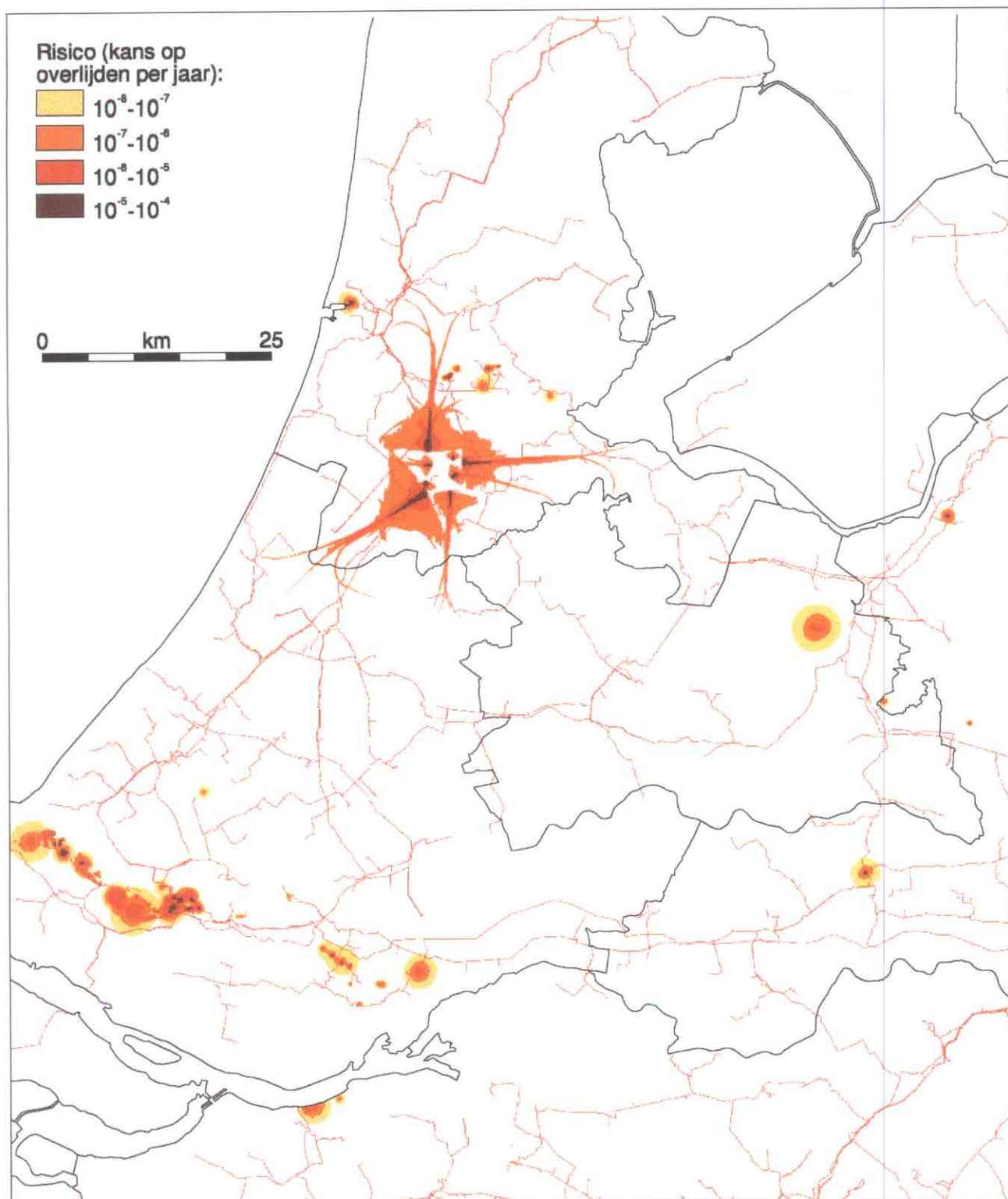
Kaart I-1a

Risico's externe veiligheid als gevolg van EVR-plichtige bedrijven, spoorwegemplacements en hoge-druk-aardgaspijpleidingen (zie paragraaf 3.3).



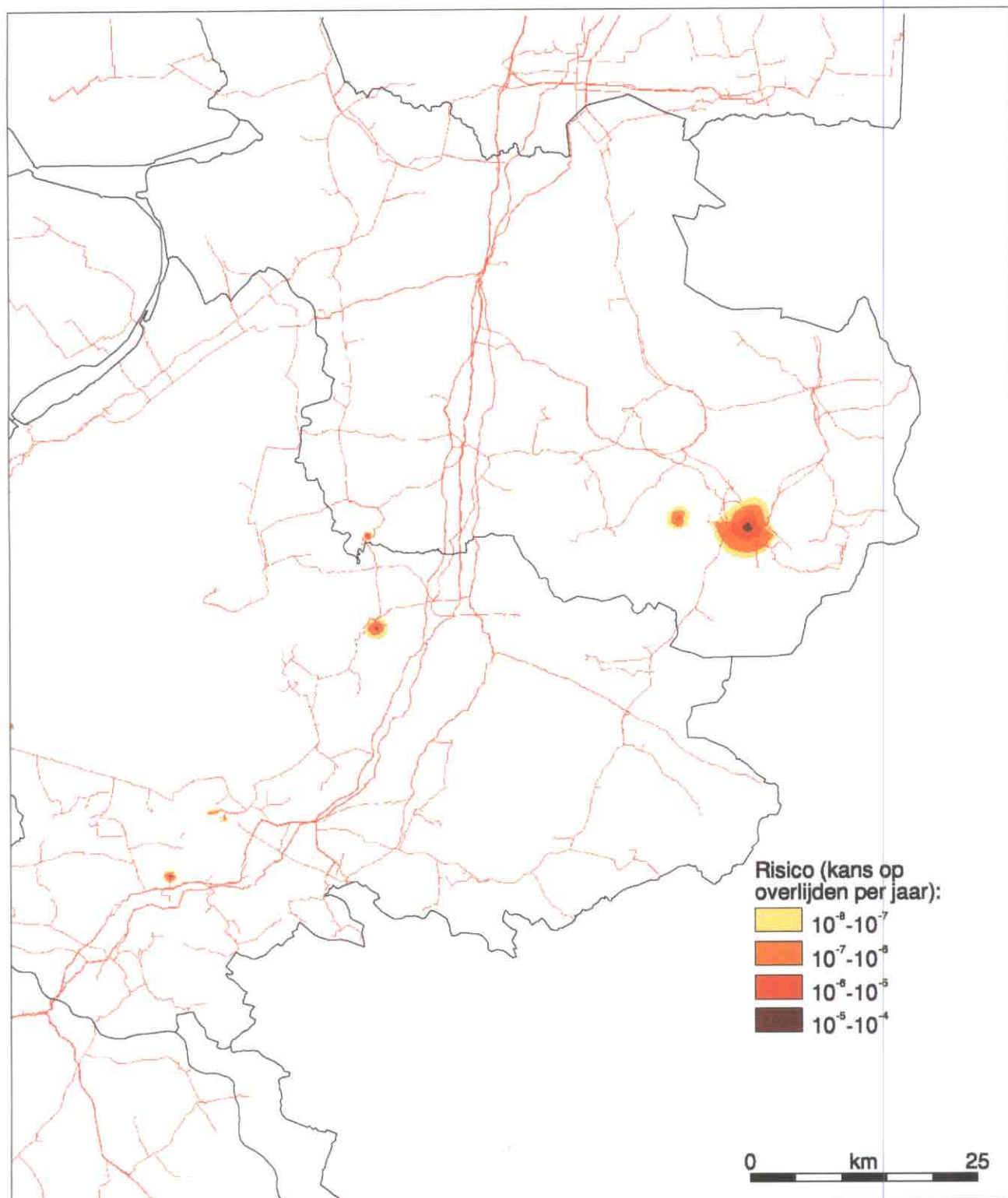
Kaart I-1b

Risico's externe veiligheid als gevolg van EVR-plichtige bedrijven, spoorwegemplacementen en hoge-druk-aardgaspijpleidingen (zie paragraaf 3.3).



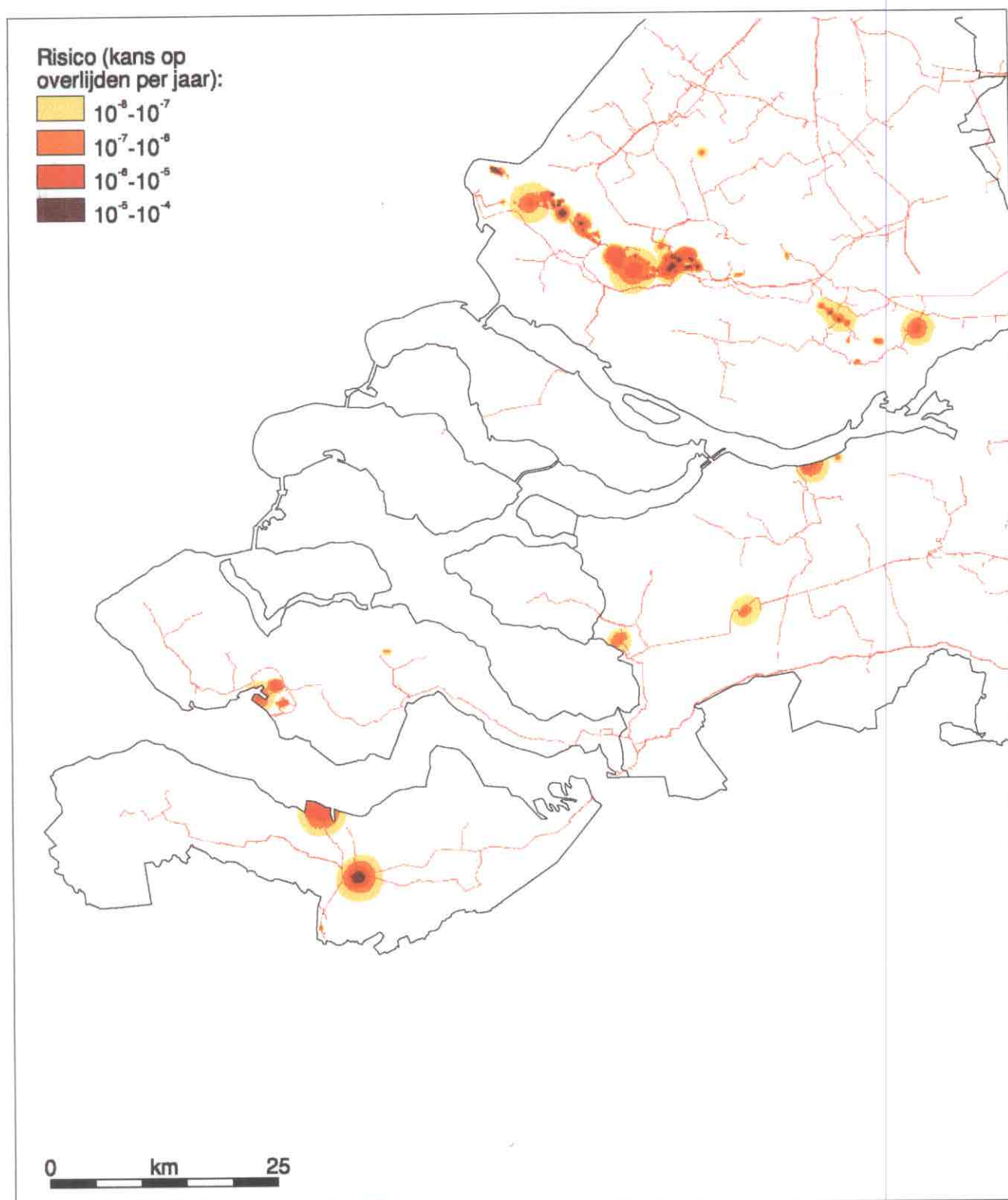
Kaart I-1c

Risiko's externe veiligheid als gevolg van EVR-plichtige bedrijven, spoorwegemplacementen, hoge-druk-aardgaspijpleidingen en Schiphol (zie paragraaf 3.3).



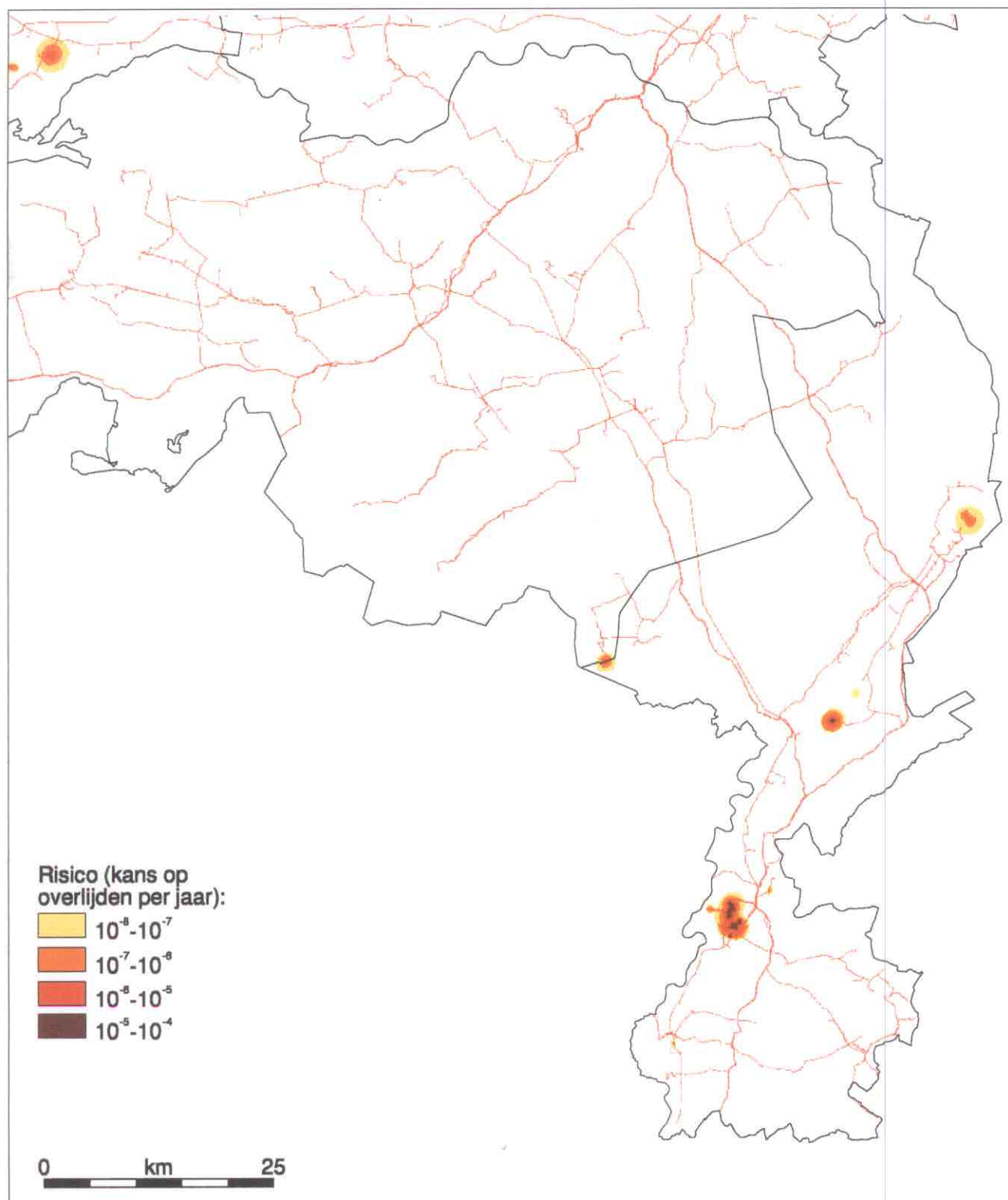
Kaart I-1d

Risico's externe veiligheid als gevolg van EVR-plichtige bedrijven, spoorwegemplacements en hoge-druk-aardgaspijpleidingen (zie paragraaf 3.3).



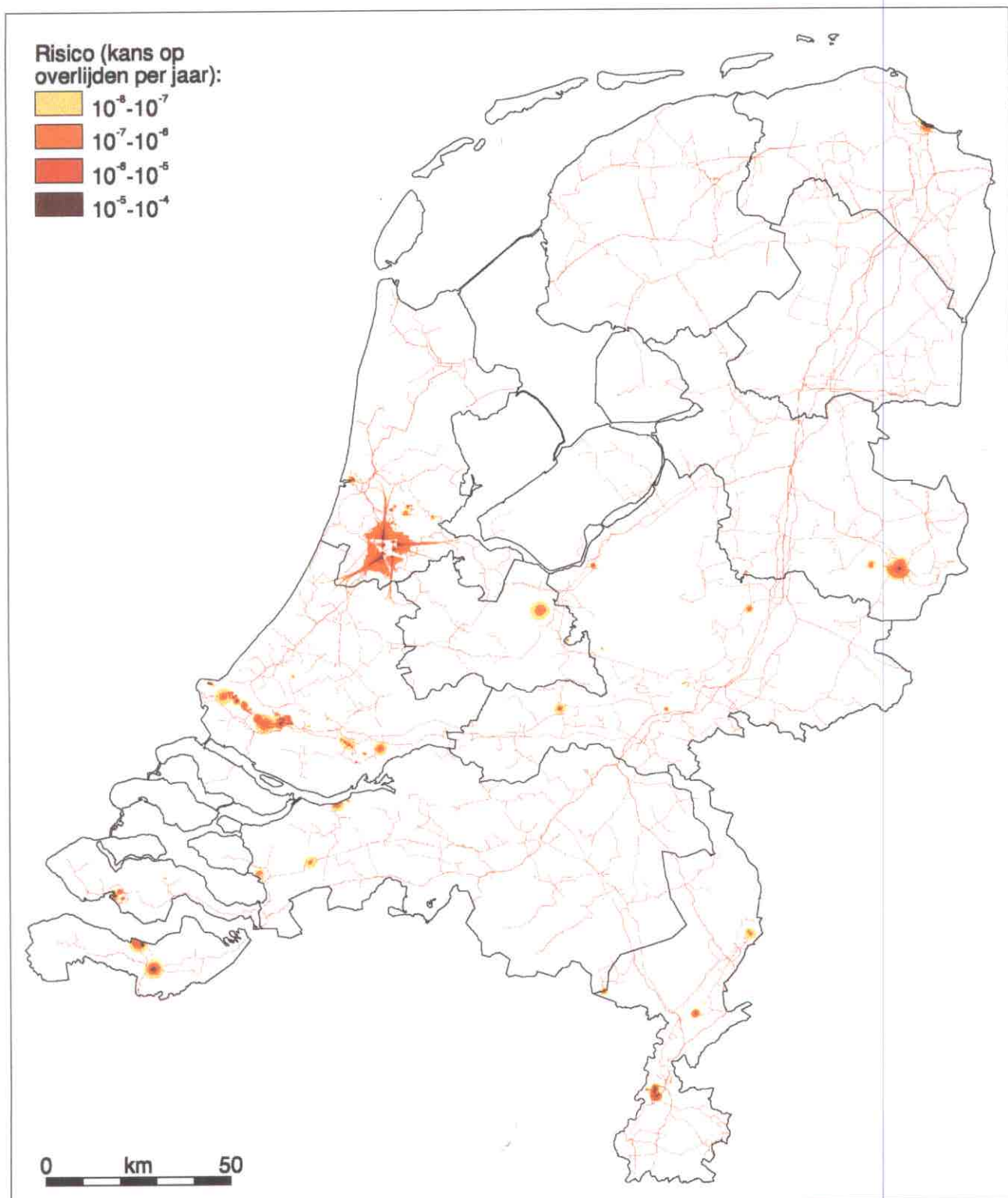
Kaart I-1e

Risiko's externe veiligheid als gevolg van EVR-plichtige bedrijven, spoorwegemplacements en hoge-druk-aardgaspijpleidingen (zie paragraaf 3.3).



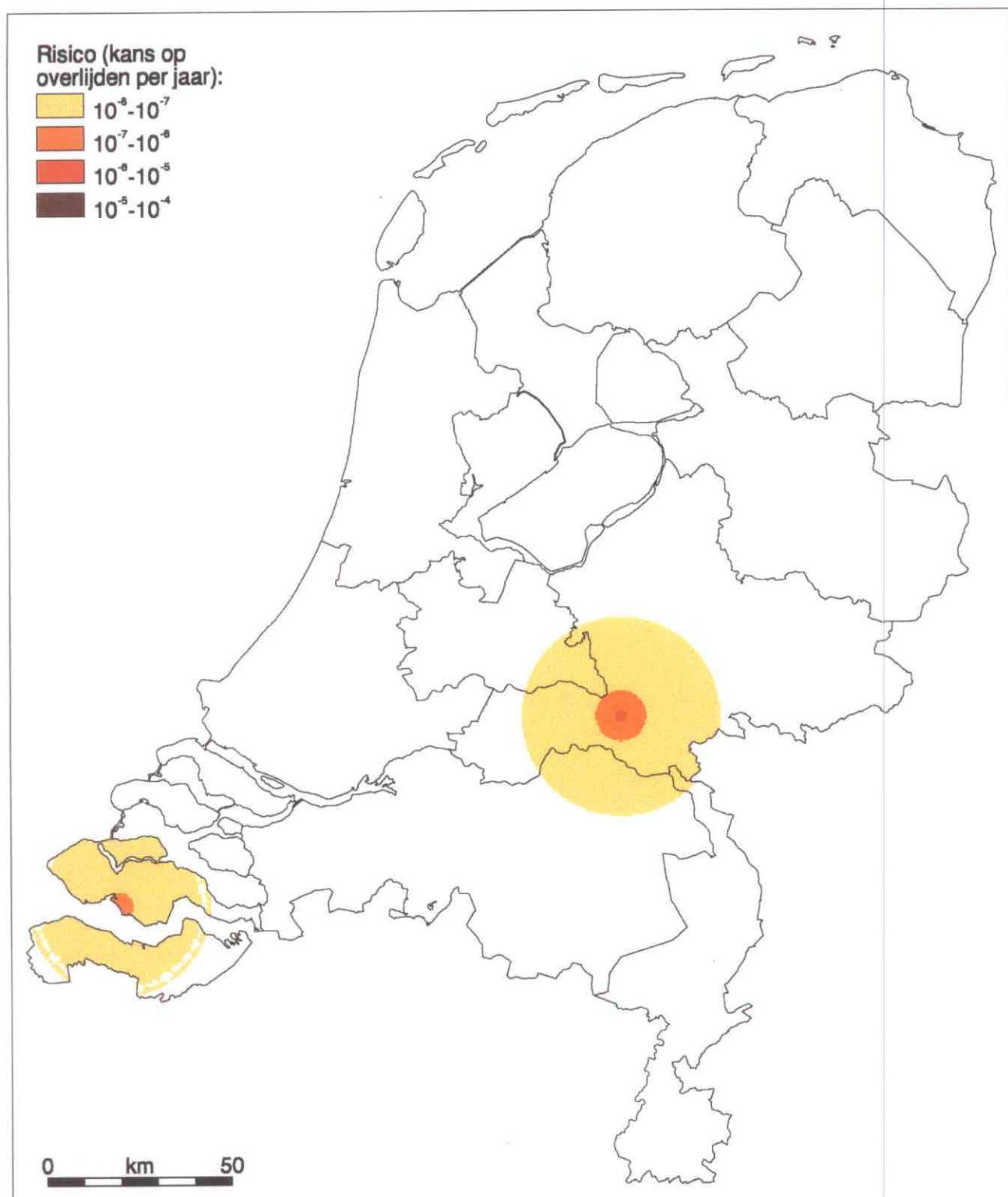
Kaart I-1f

Risico's externe veiligheid als gevolg van EVR-plichtige bedrijven, spoorwegemplacements en hoge-druk-aardgaspijpleidingen (zie paragraaf 3.3).



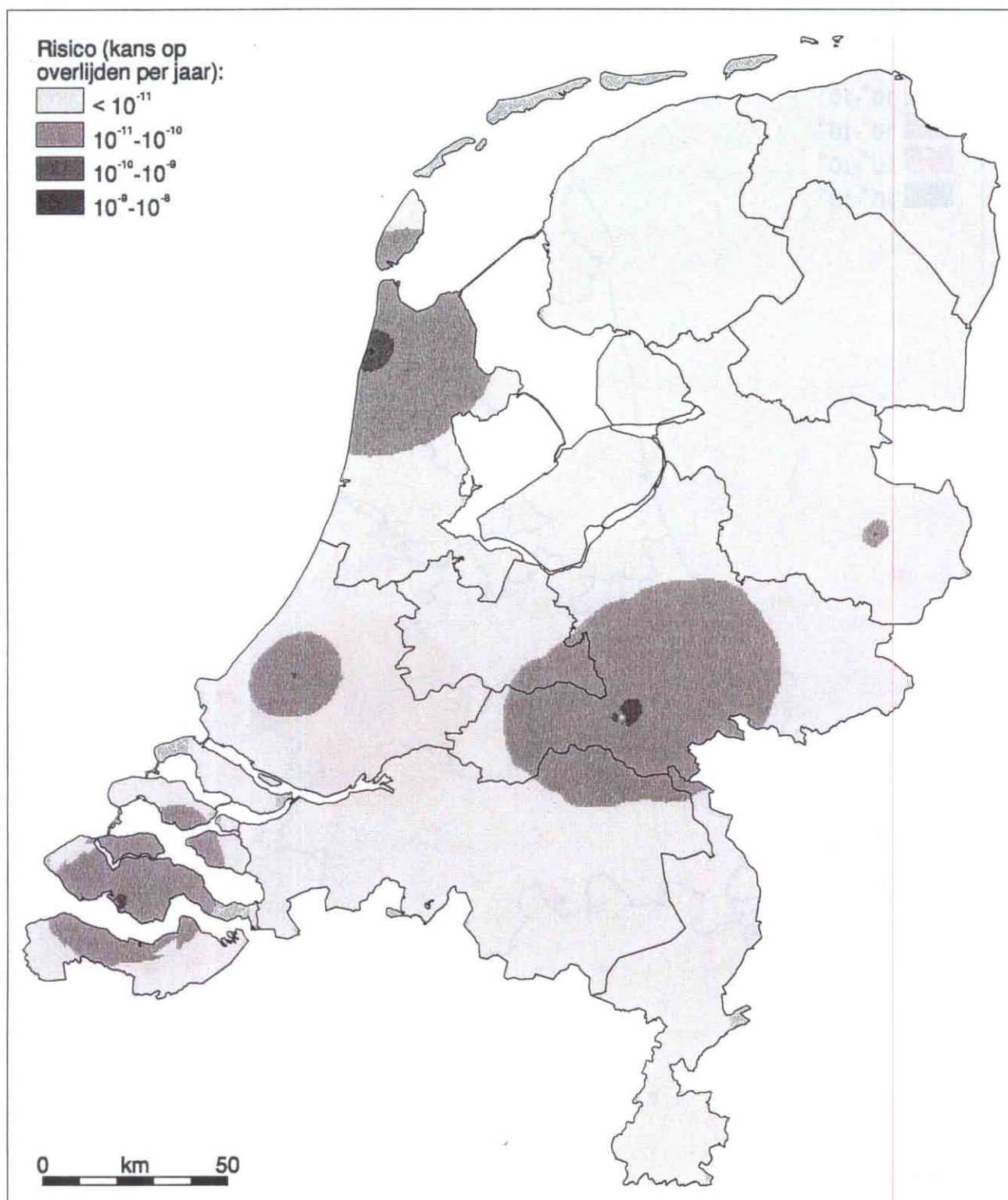
Kaart I-2

Risico's externe veiligheid als gevolg van EVR-plichtige bedrijven, spoorwegemplacementen, hoge-druk-aardgaspijpleidingen en Schiphol (zie paragraaf 3.3).



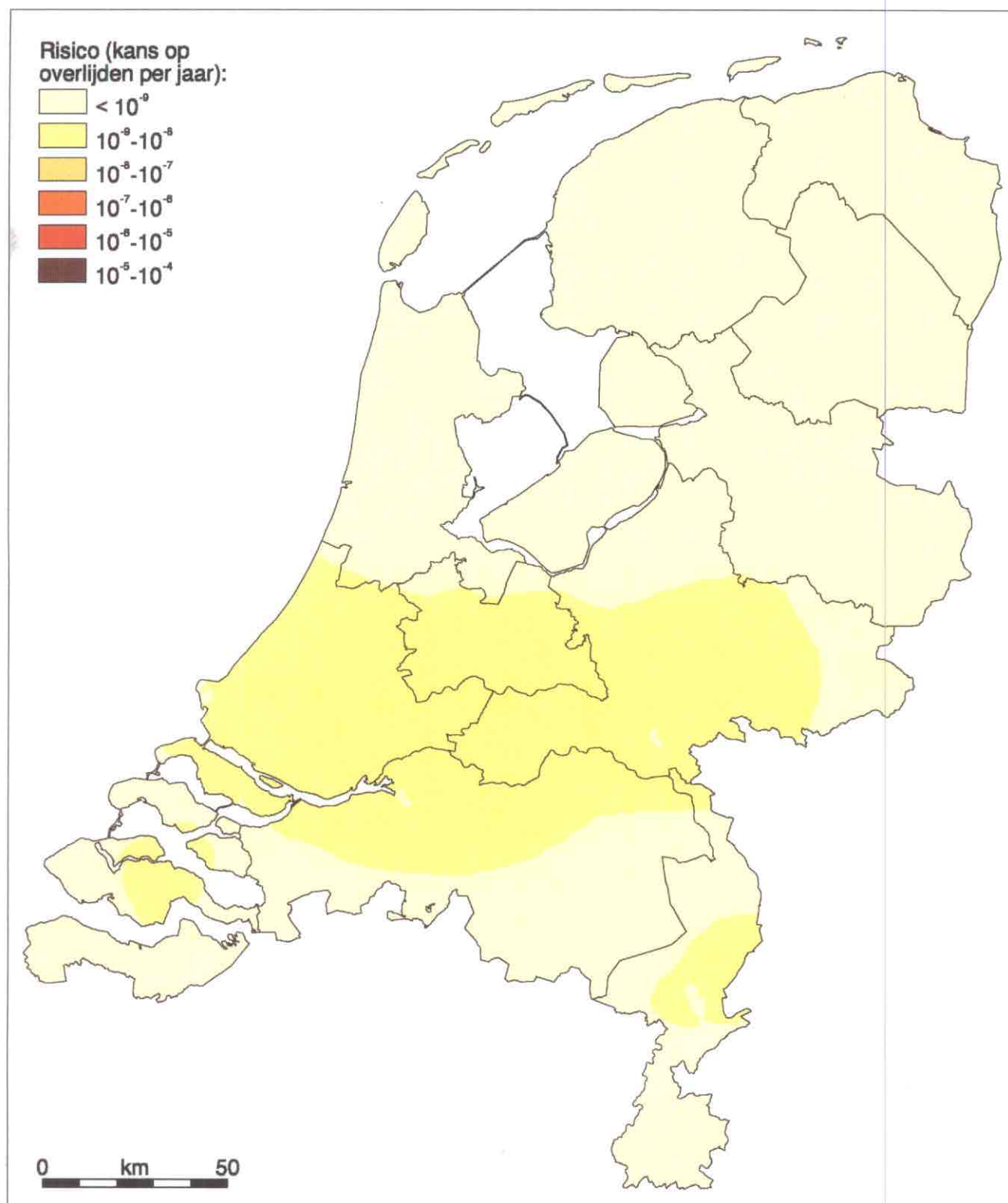
Kaart II-1

Risico's als gevolg van mogelijke ongevallen met Nederlandse kerncentrales (zie paragraaf 4.3.2). Het betreft de situatie vóór de modificatieprojecten van de beide kerncentrales.



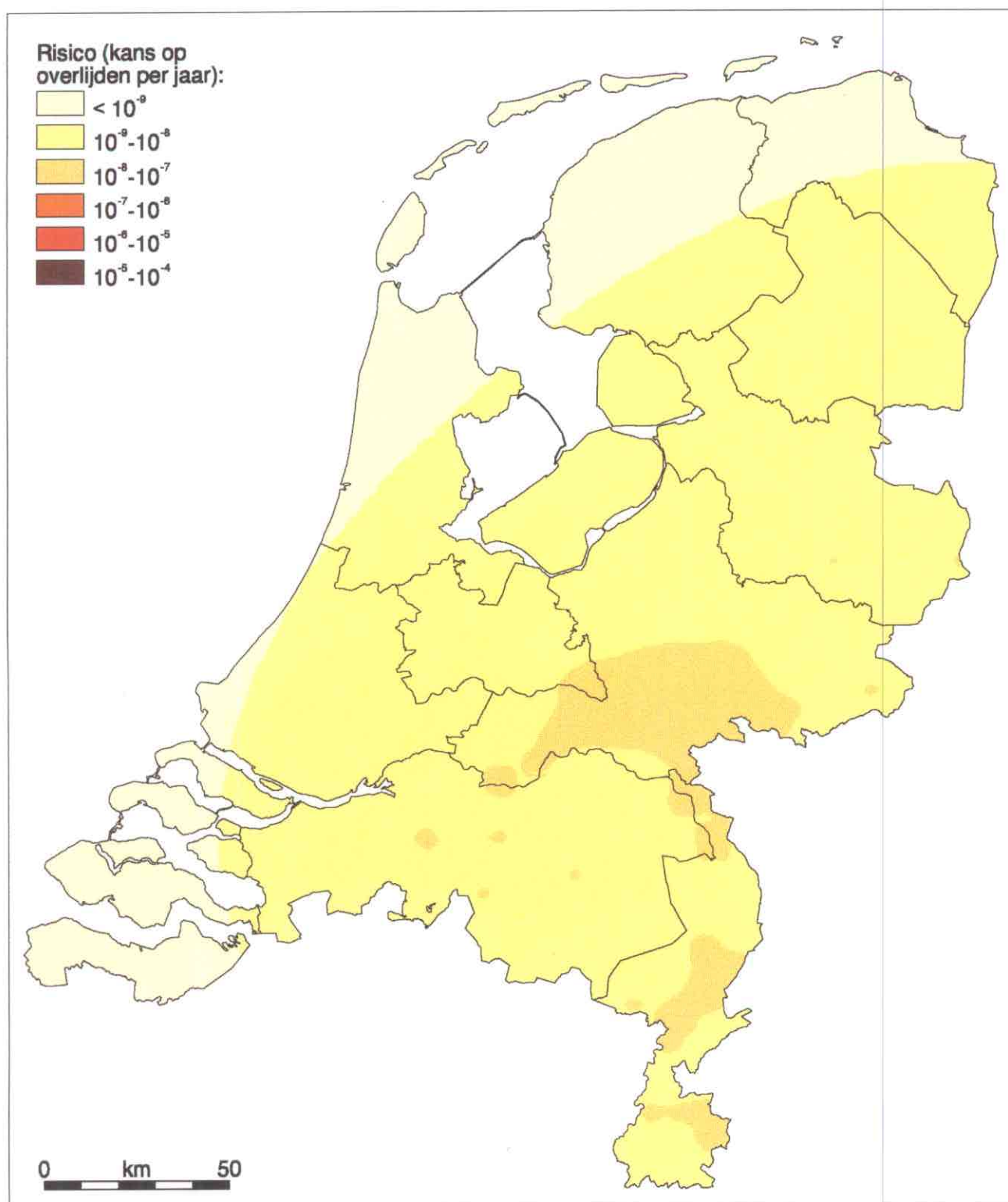
Kaart II-2

Risico's als gevolg van reguliere lozingen naar lucht door nucleaire installaties (zie paragraaf 4.3.2).



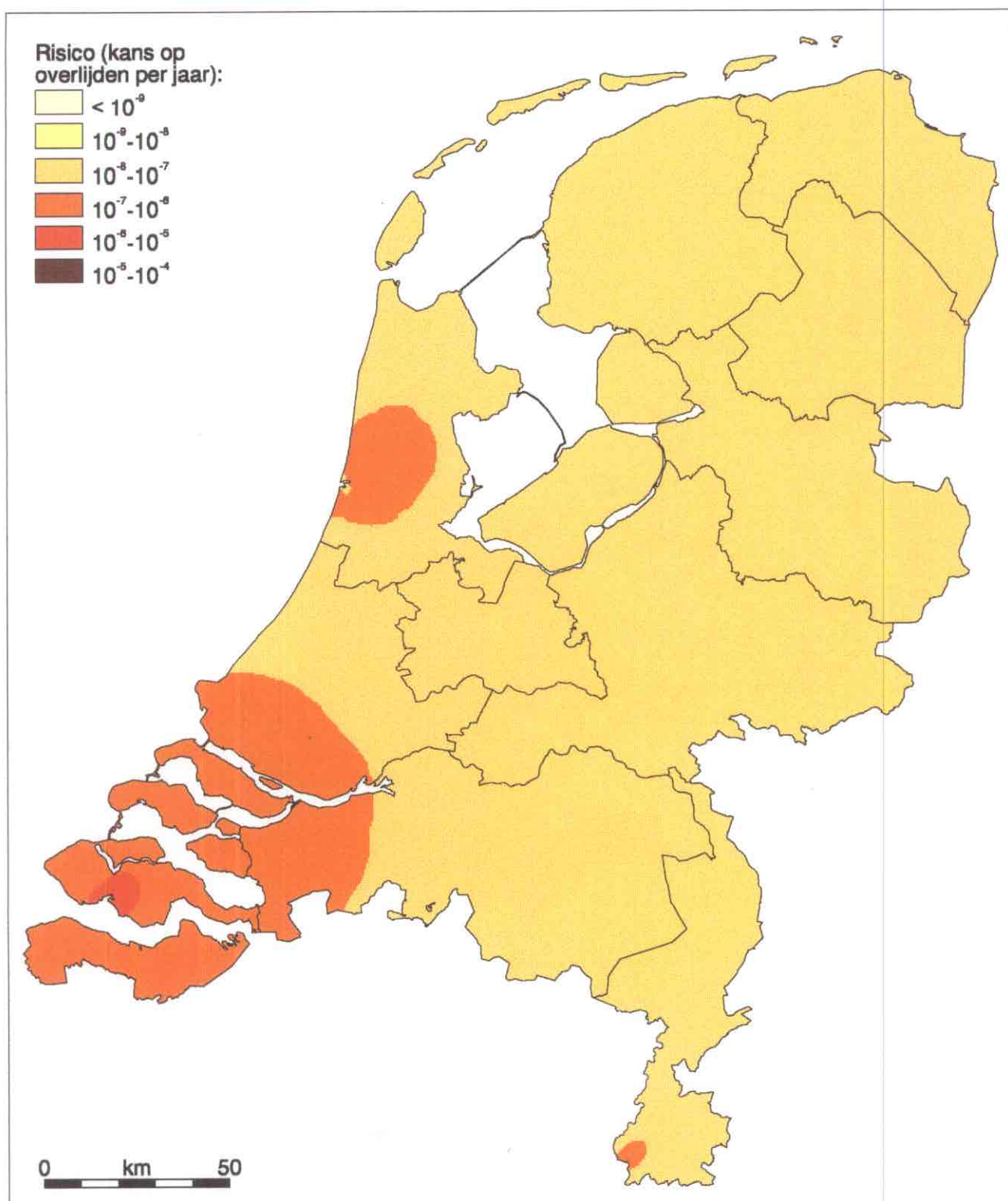
Kaart II-3a

Risico's als gevolg van reguliere lozingen van radioactieve stoffen naar lucht door de kolencentrales (zie paragraaf 4.3.2).



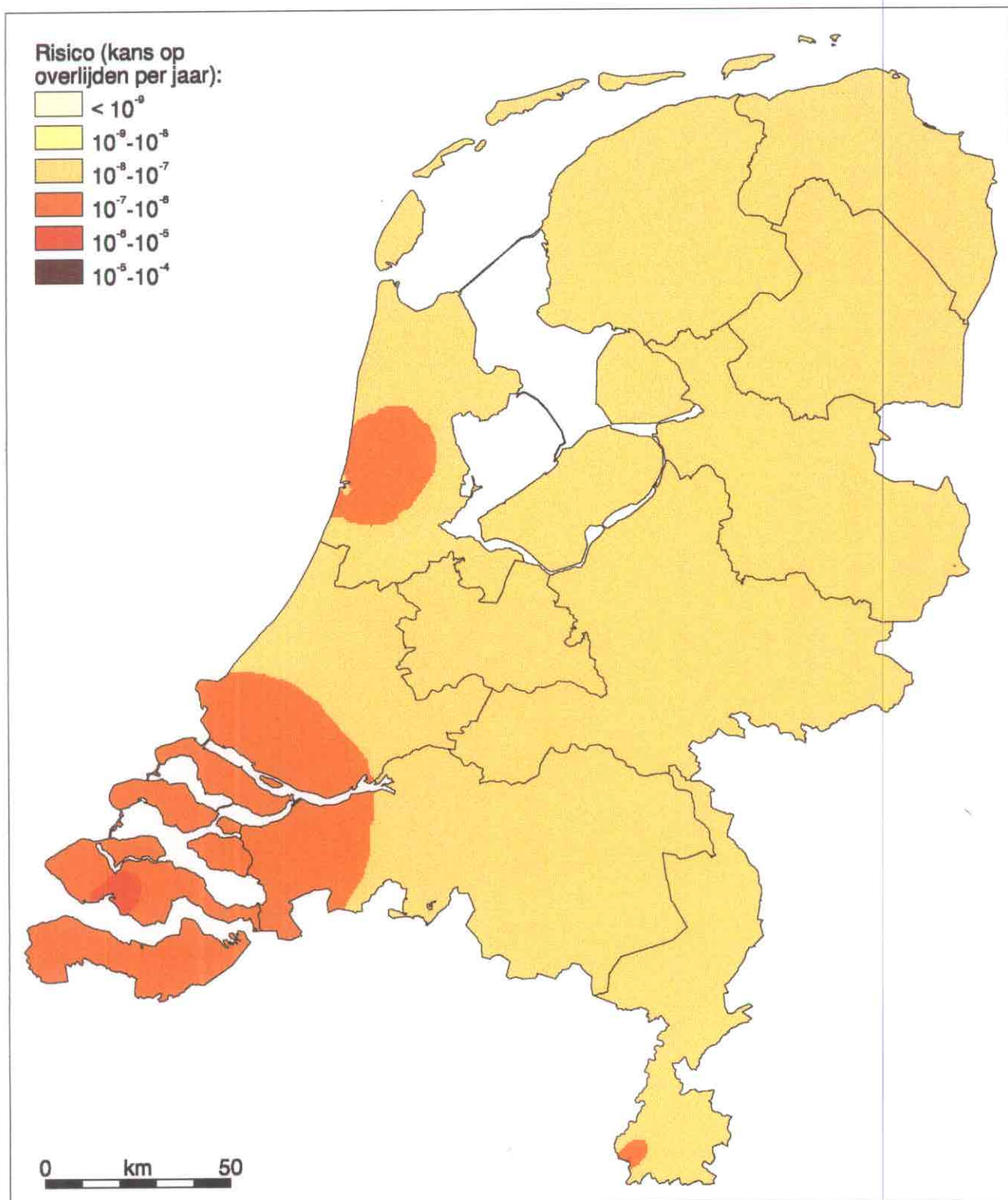
Kaart II-3b

Risico's als gevolg van reguliere lozingen van radioactieve stoffen naar lucht door de baksteenindustrie (zie paragraaf 4.3.2).



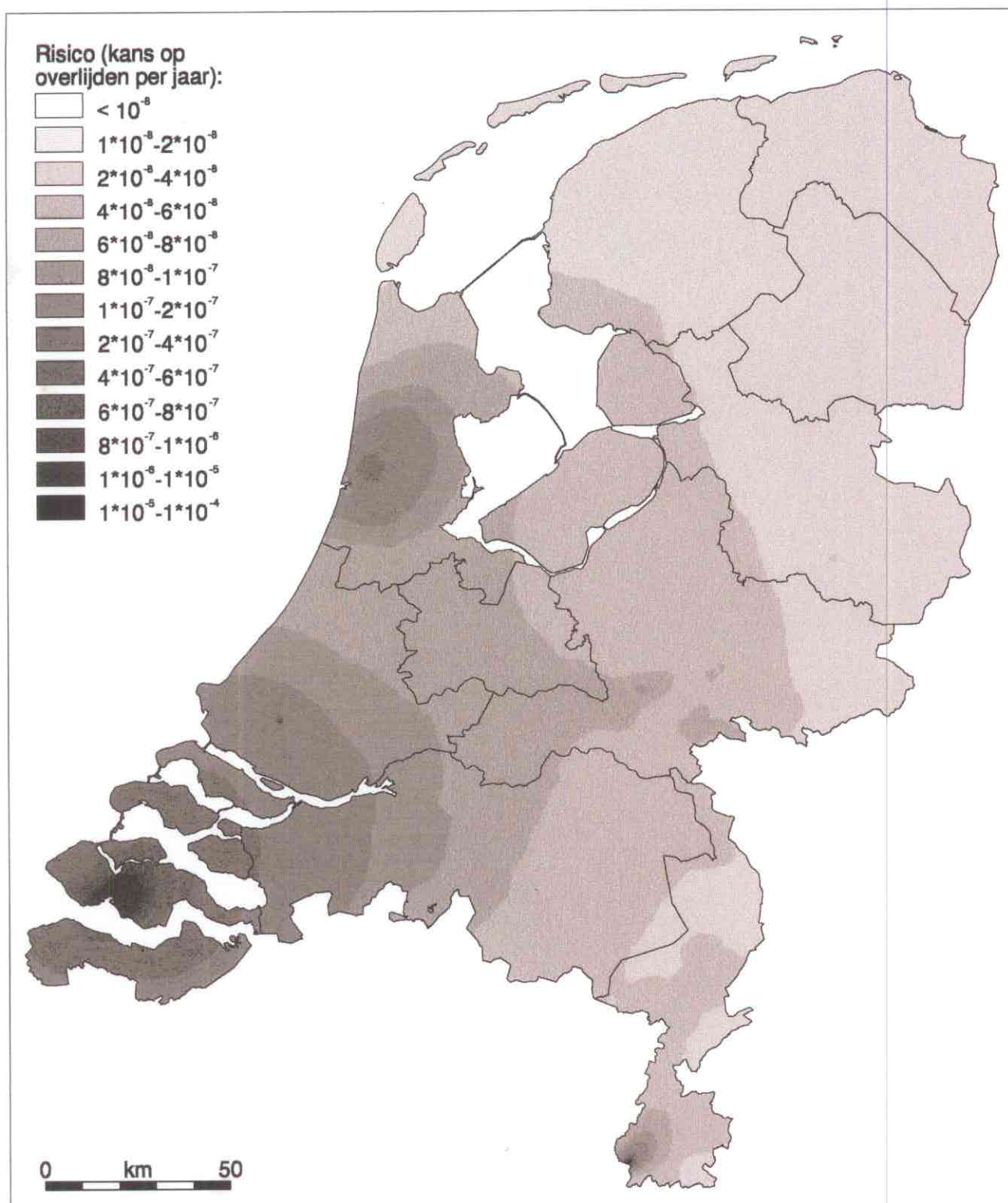
Kaart II-3c

Risico's als gevolg van reguliere lozingen van radioactieve stoffen naar lucht door niet-nucleaire industrie (zie paragraaf 4.3.2). Voor het (basis)risico als gevolg van de andere bronnen van radioactieve stoffen en straling wordt verwezen naar de tekst (zie paragraaf 4.3.1).



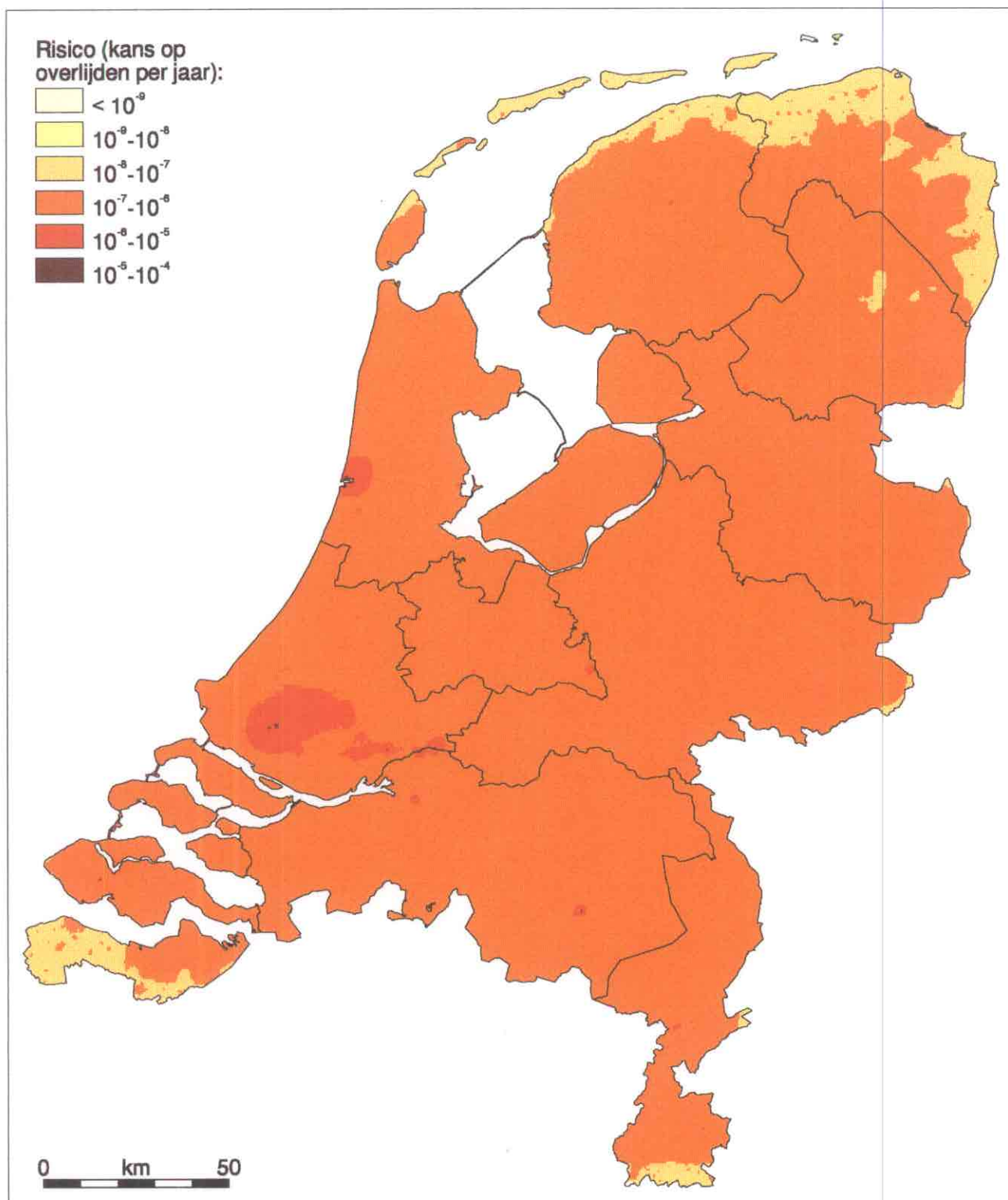
Kaart II-4a

Risico's als gevolg van de reguliere lozingen van radioactieve stoffen naar lucht door de nucleaire en niet-nucleaire industrie. Voor het (basis)risico als gevolg van de andere bronnen van radioactieve stoffen en straling wordt verwezen naar de tekst (zie paragraaf 4.3.1).



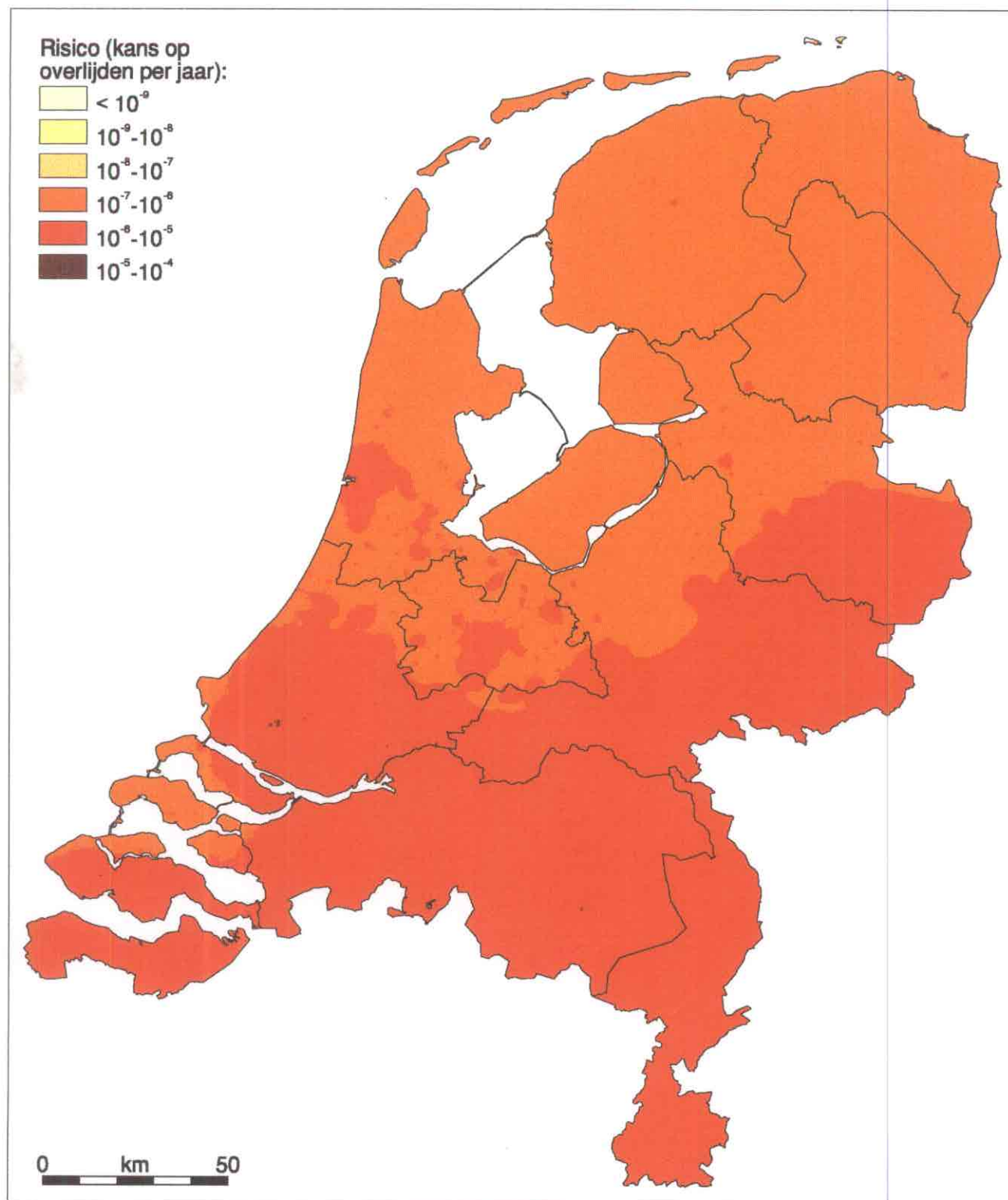
Kaart II-4b

Risico's als gevolg van de reguliere lozingen van radioactieve stoffen naar lucht door de nucleaire en niet-nucleaire industrie (deze kaart toont dezelfde gegevens als kaart II-4a, maar met meer geografisch detail).



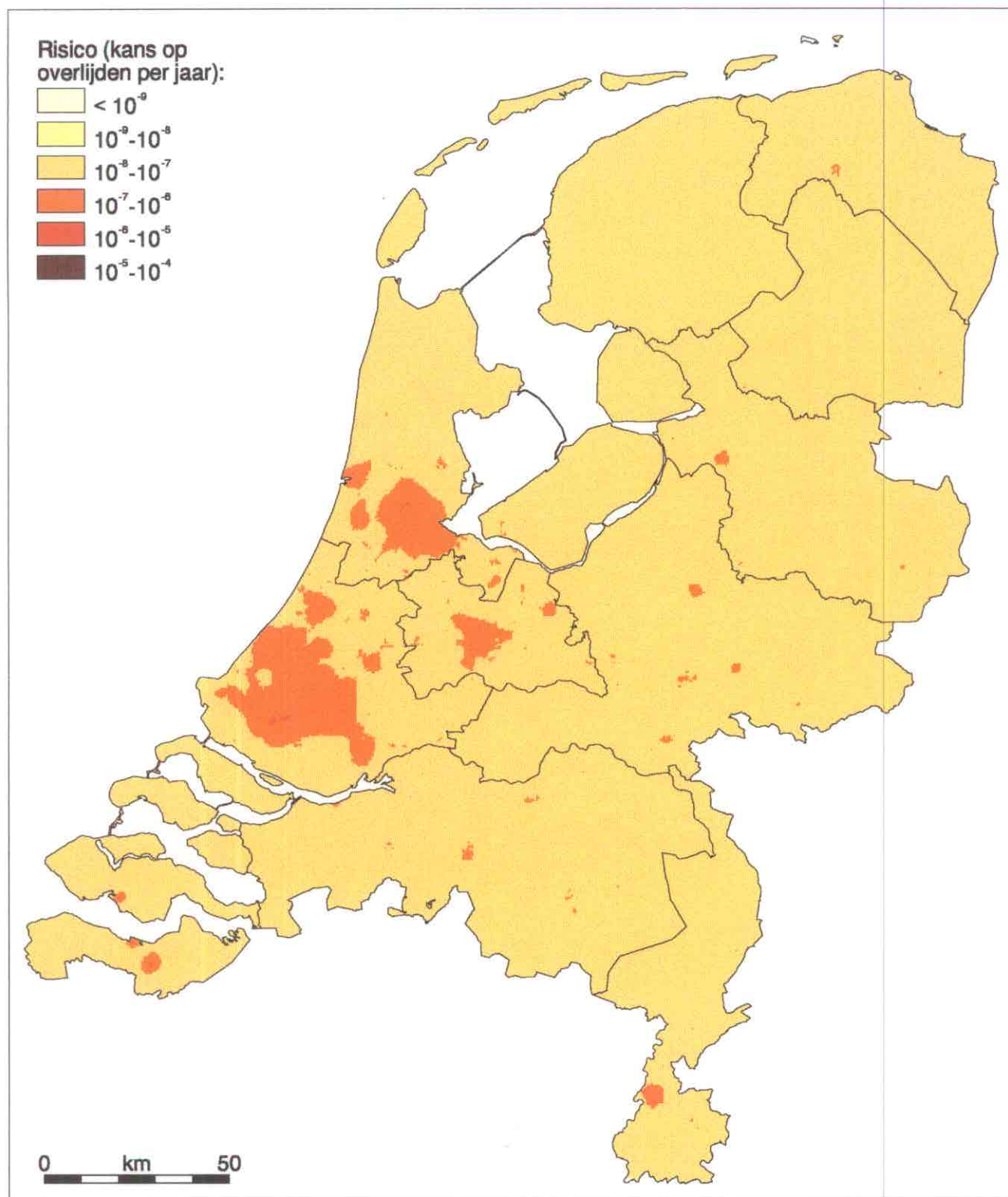
Kaart III-1a

Risico's als gevolg van benzo(a)pyreen afkomstig van binnenlandse bronnen (zie paragraaf 4.3.3).



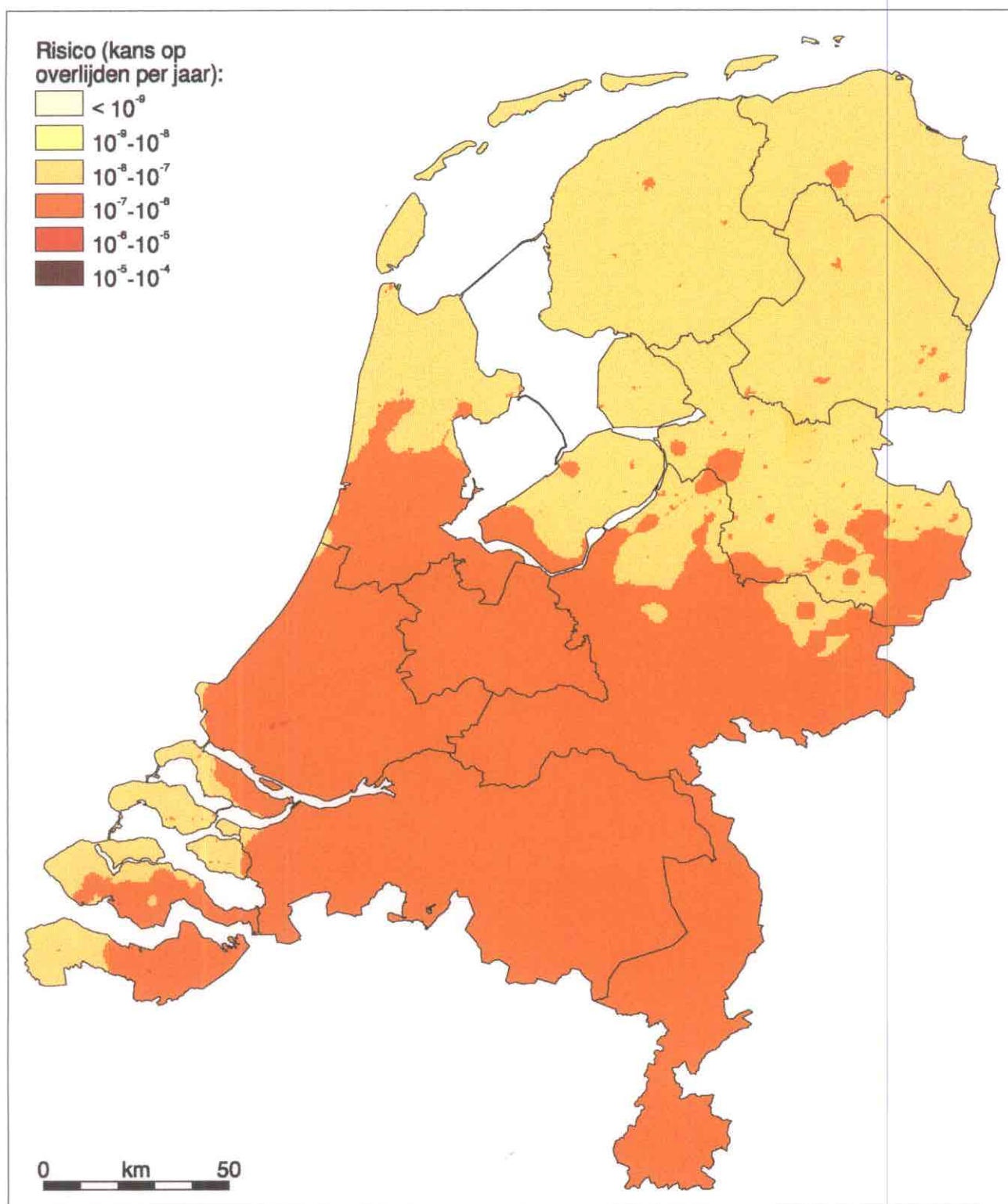
Kaart III-1b

Risico's als gevolg van benzo(a)pyreen afkomstig van binnenlandse en buitenlandse bronnen (zie paragraaf 4.3.3).



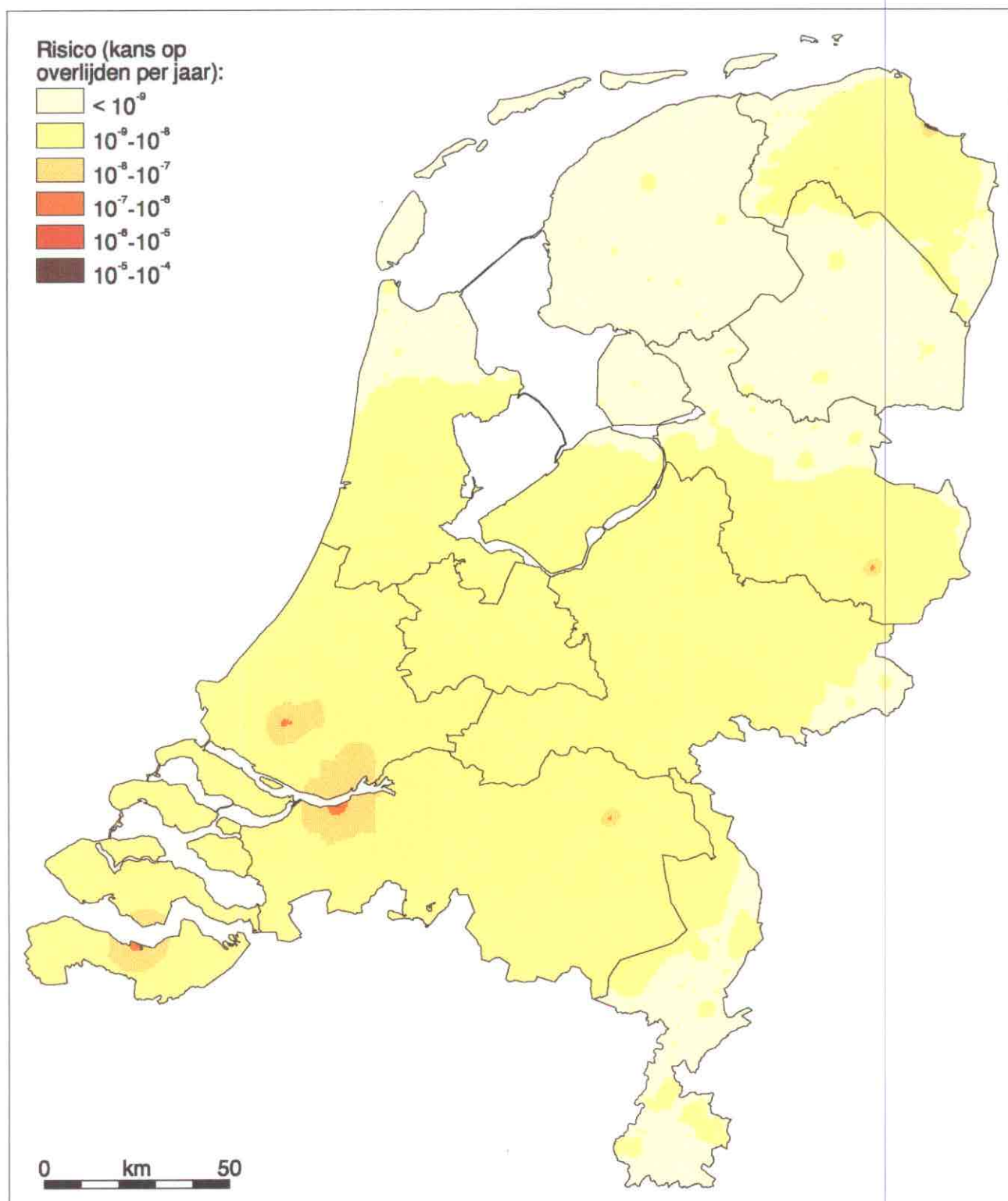
Kaart III-2a

Risico's als gevolg van benzeen afkomstig van binnenlandse bronnen (zie paragraaf 4.3.3).

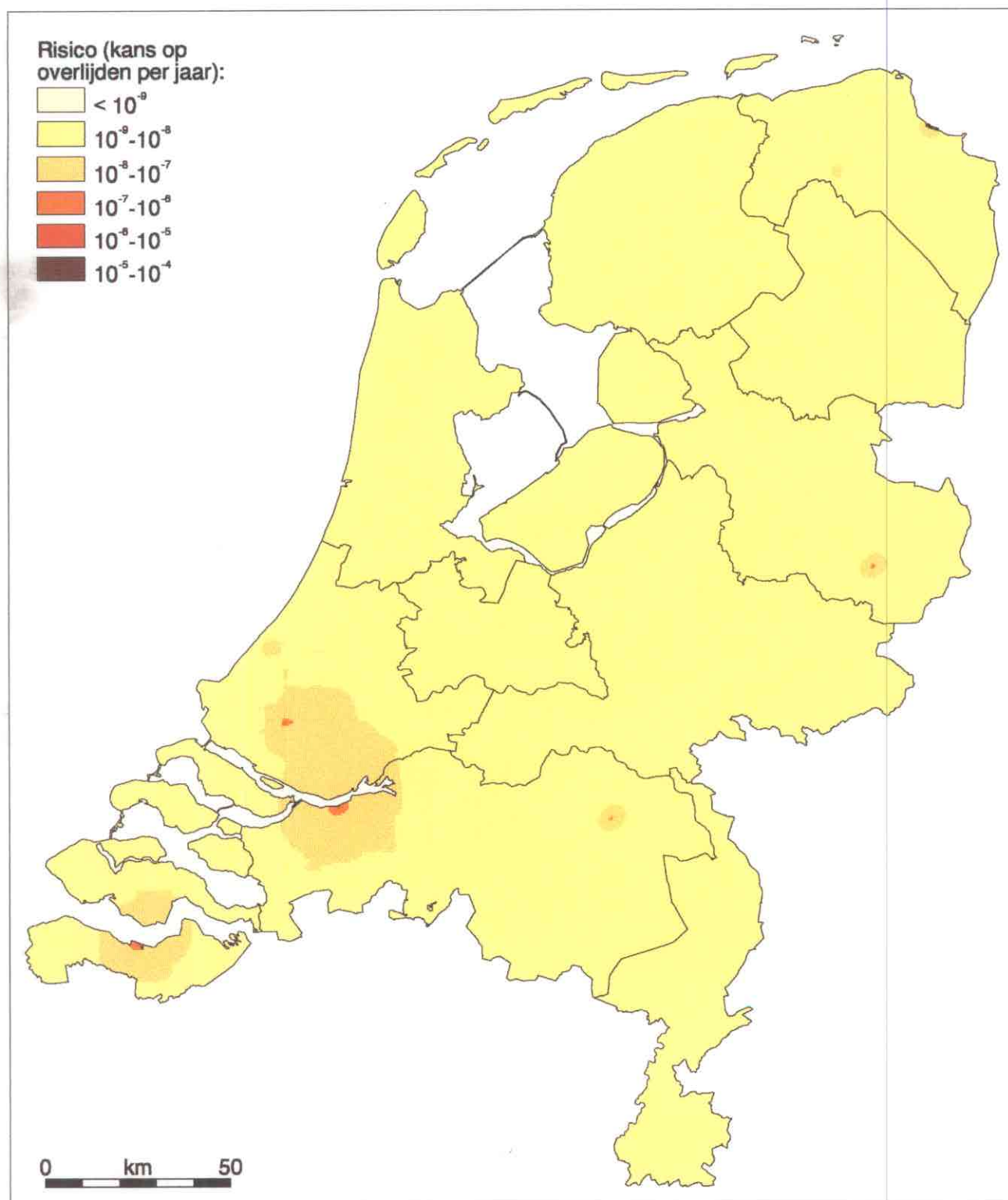


Kaart III-2b

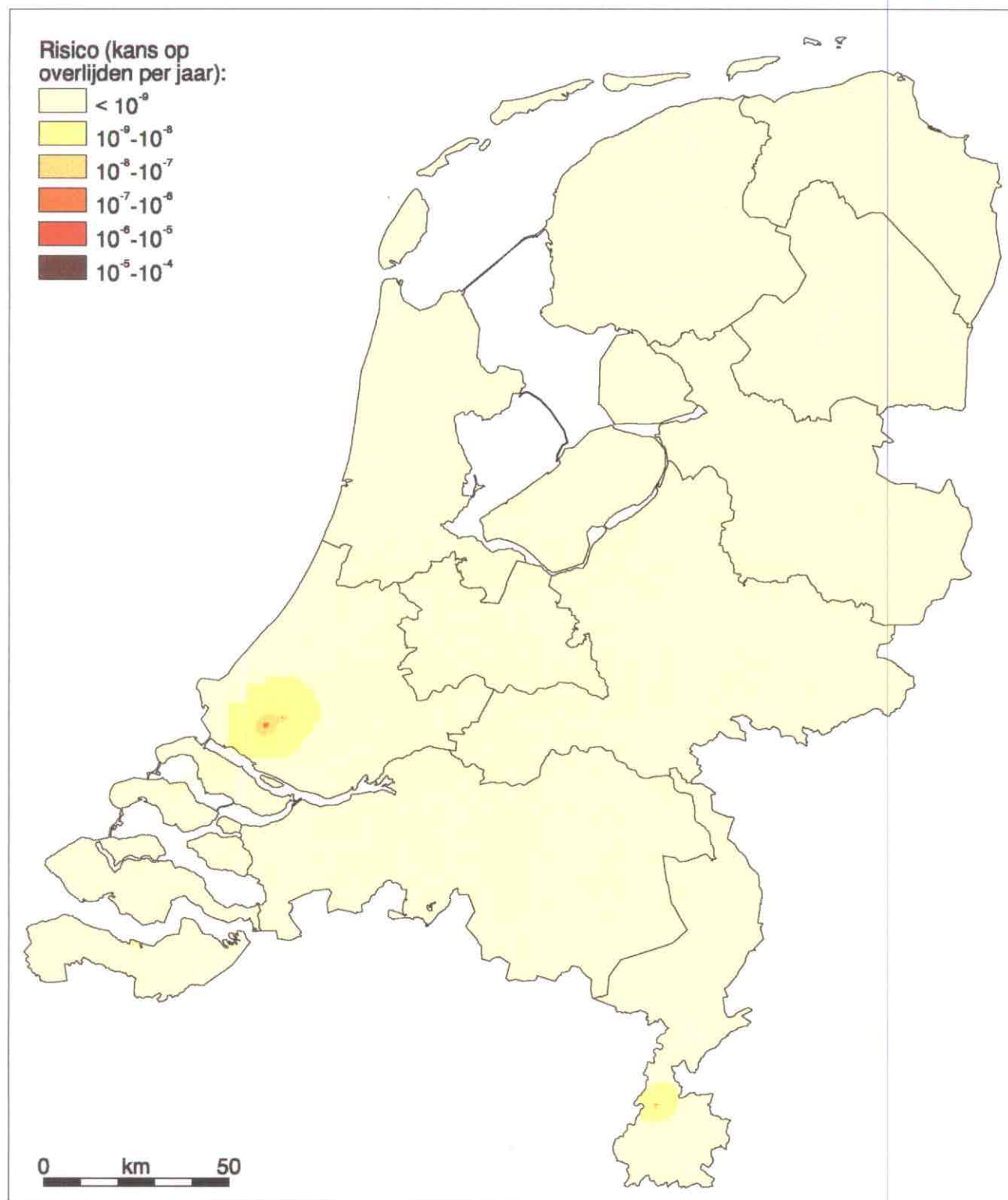
Risico's als gevolg van benzeen afkomstig van binnenlandse en buitenlandse bronnen (zie paragraaf 4.3.3).



Kaart III-3a Risico's als gevolg van ethyleenoxide afkomstig van binnenlandse bronnen (zie paragraaf 4.3.3).

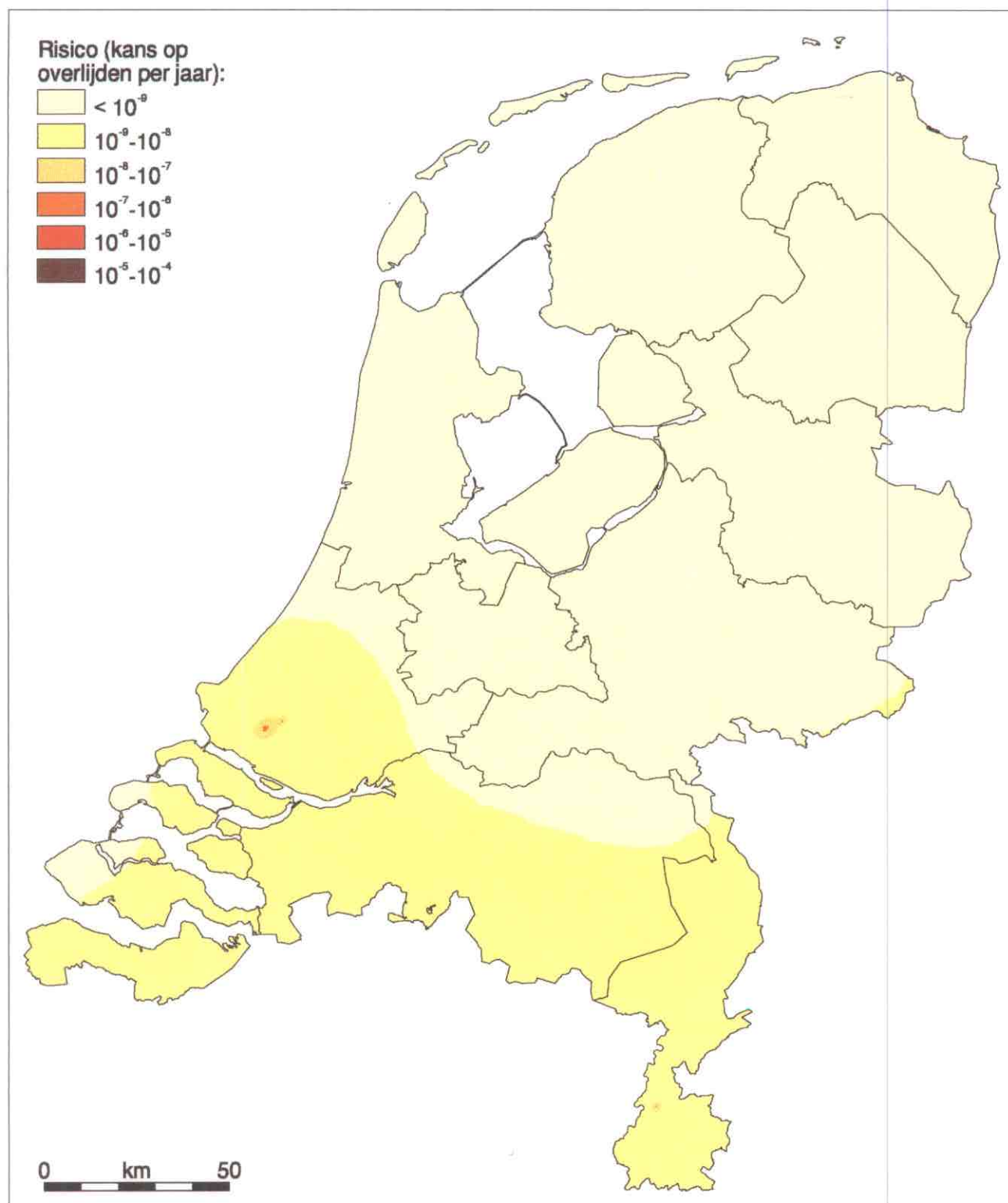


Kaart III-3b Risico's als gevolg van ethyleenoxyde afkomstig van binnenlandse en buitenlandse bronnen (zie paragraaf 4.3.3).



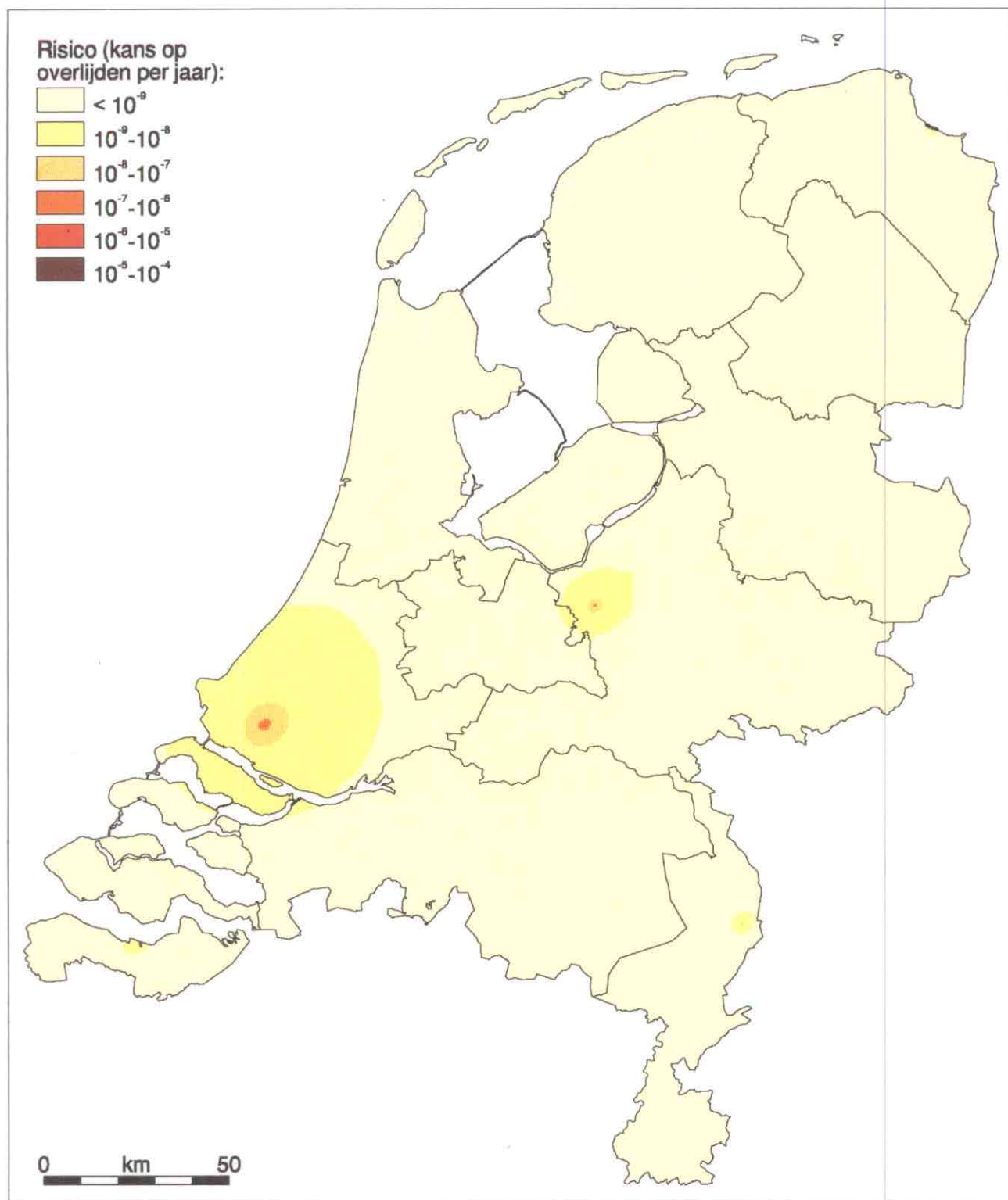
Kaart III-4a

Risico's als gevolg van vinylchloride afkomstig van binnenlandse bronnen (zie paragraaf 4.3.3).



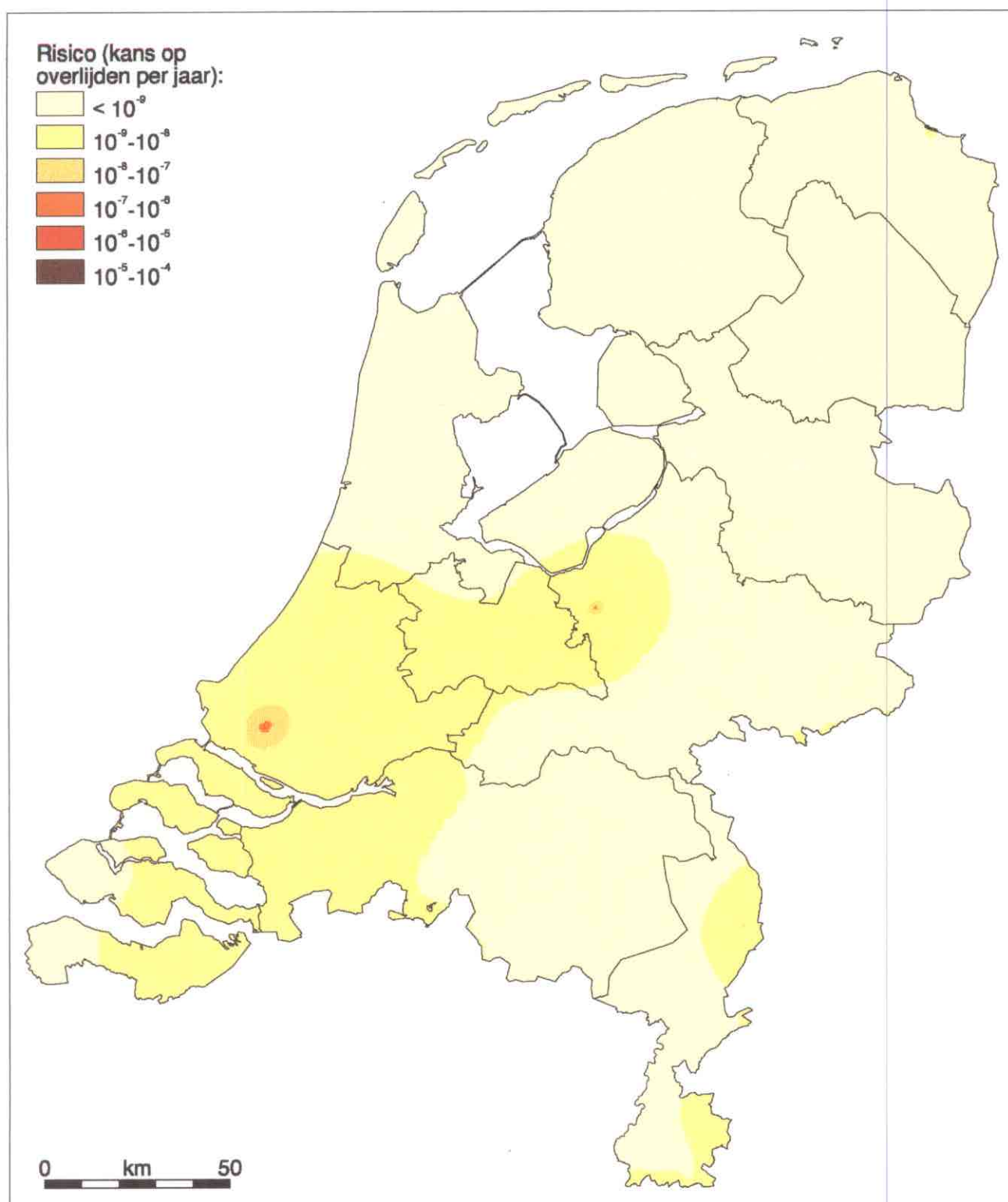
Kaart III-4b

Risico's als gevolg van vinylchloride afkomstig van binnenlandse en buitenlandse bronnen (zie paragraaf 4.3.3).



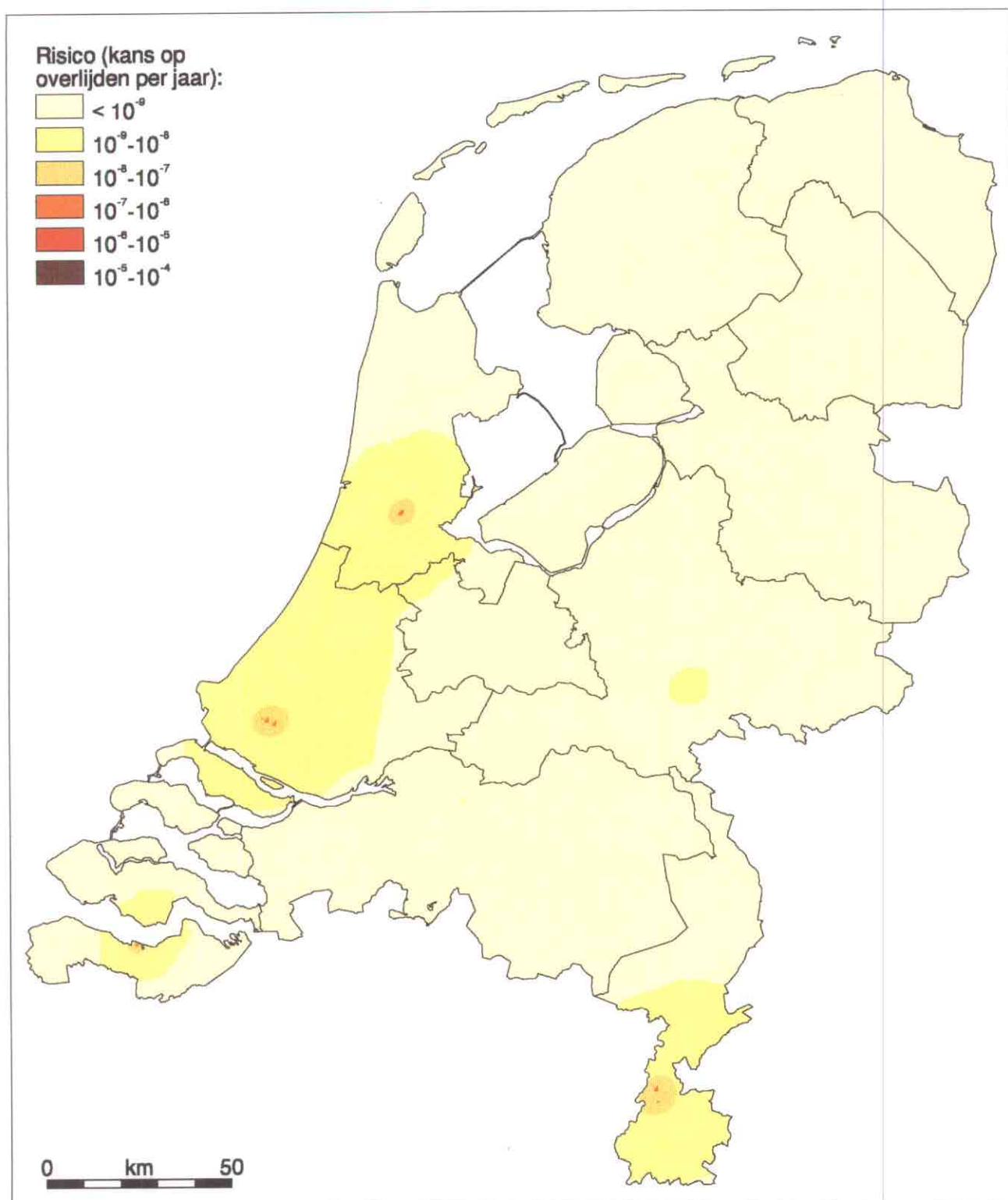
Kaart III-5a

Risico's als gevolg van 1,2-dichloorethaan afkomstig van binnenlandse bronnen (zie paragraaf 4.3.3).



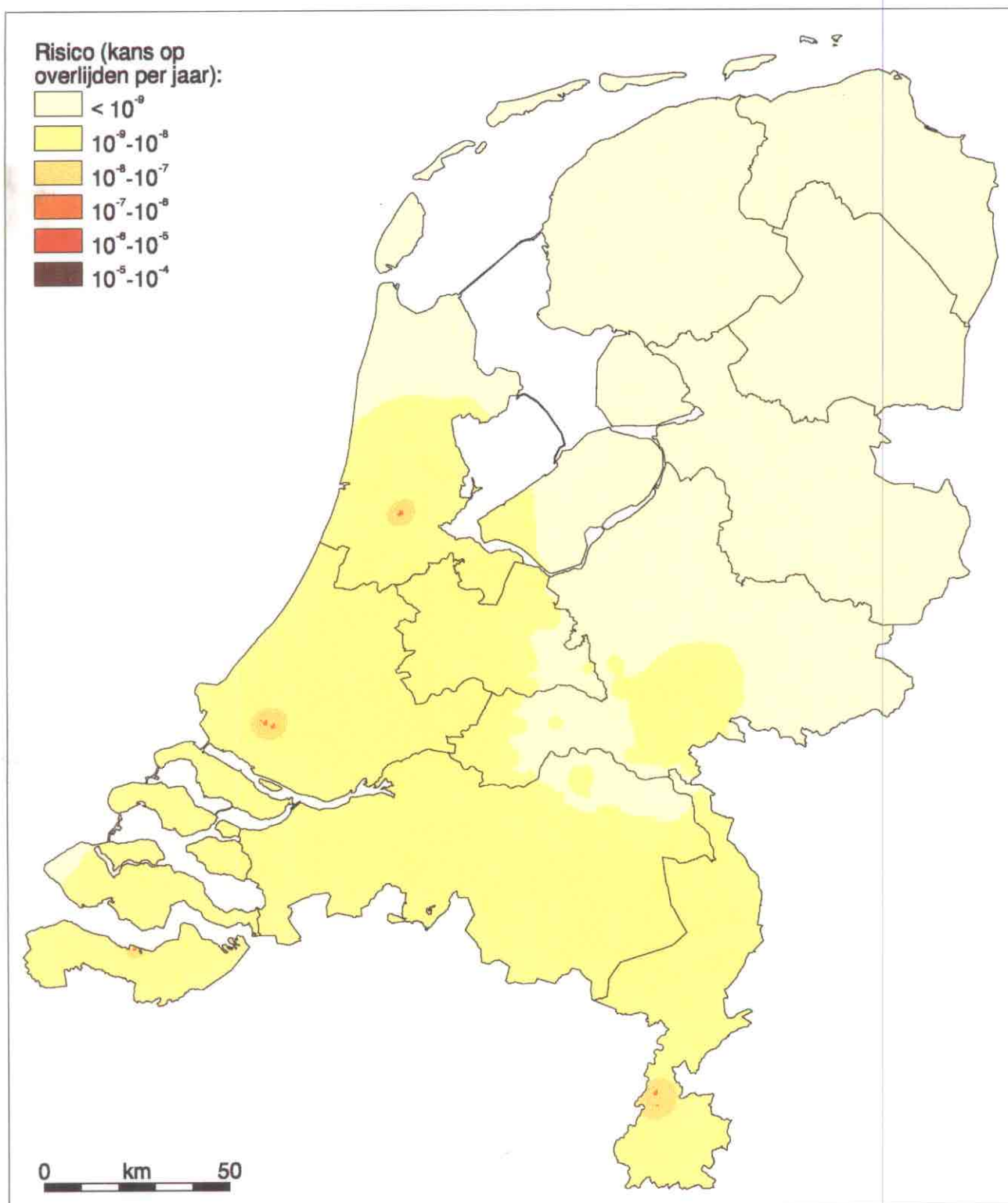
Kaart III-5b

Risico's als gevolg van 1,2-dichloorethaan afkomstig van binnenlandse en buitenlandse bronnen (zie paragraaf 4.3.3).



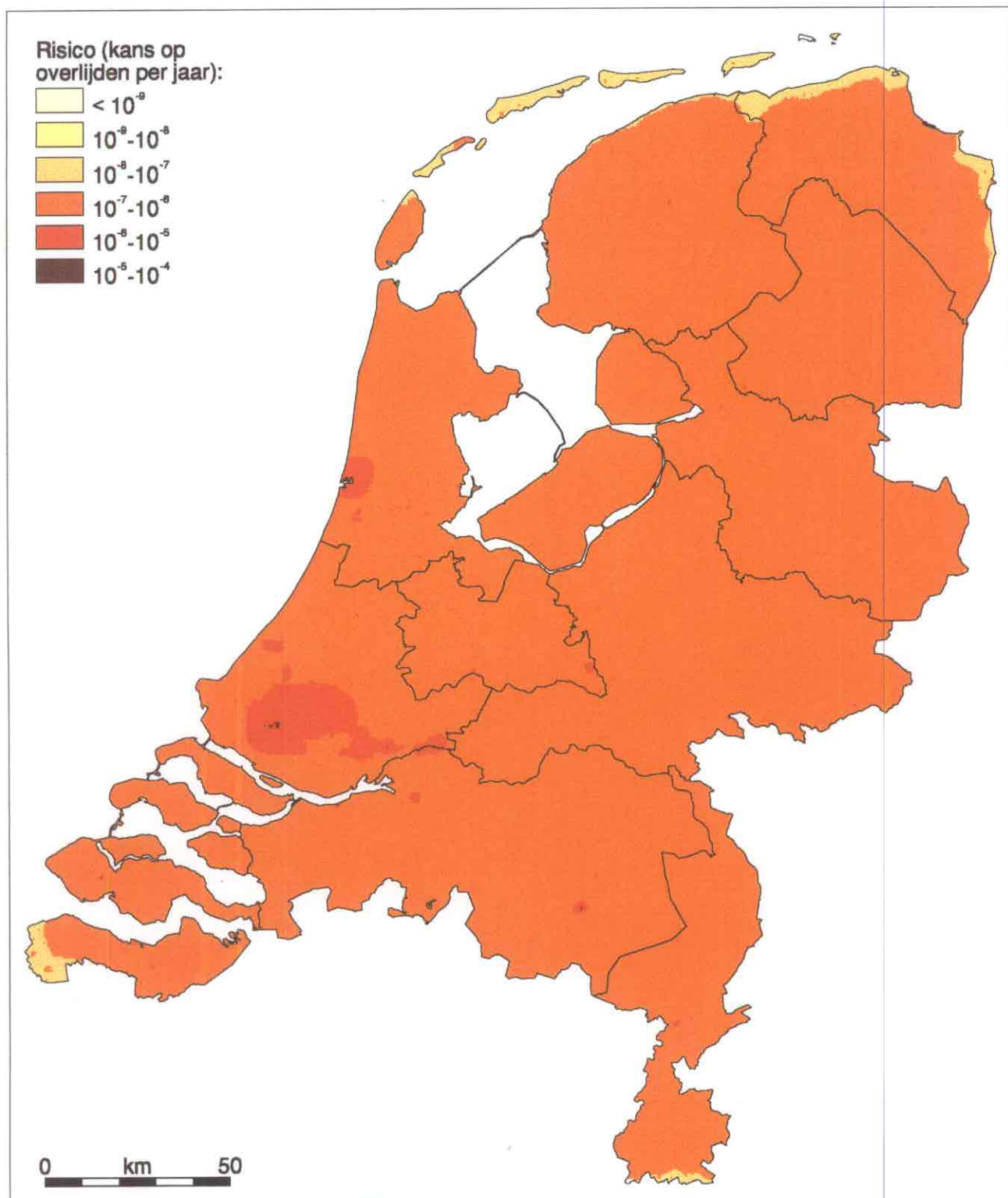
Kaart III-6a

Risico's als gevolg van acrylonitril afkomstig van binnenlandse bronnen (zie paragraaf 4.3.3).



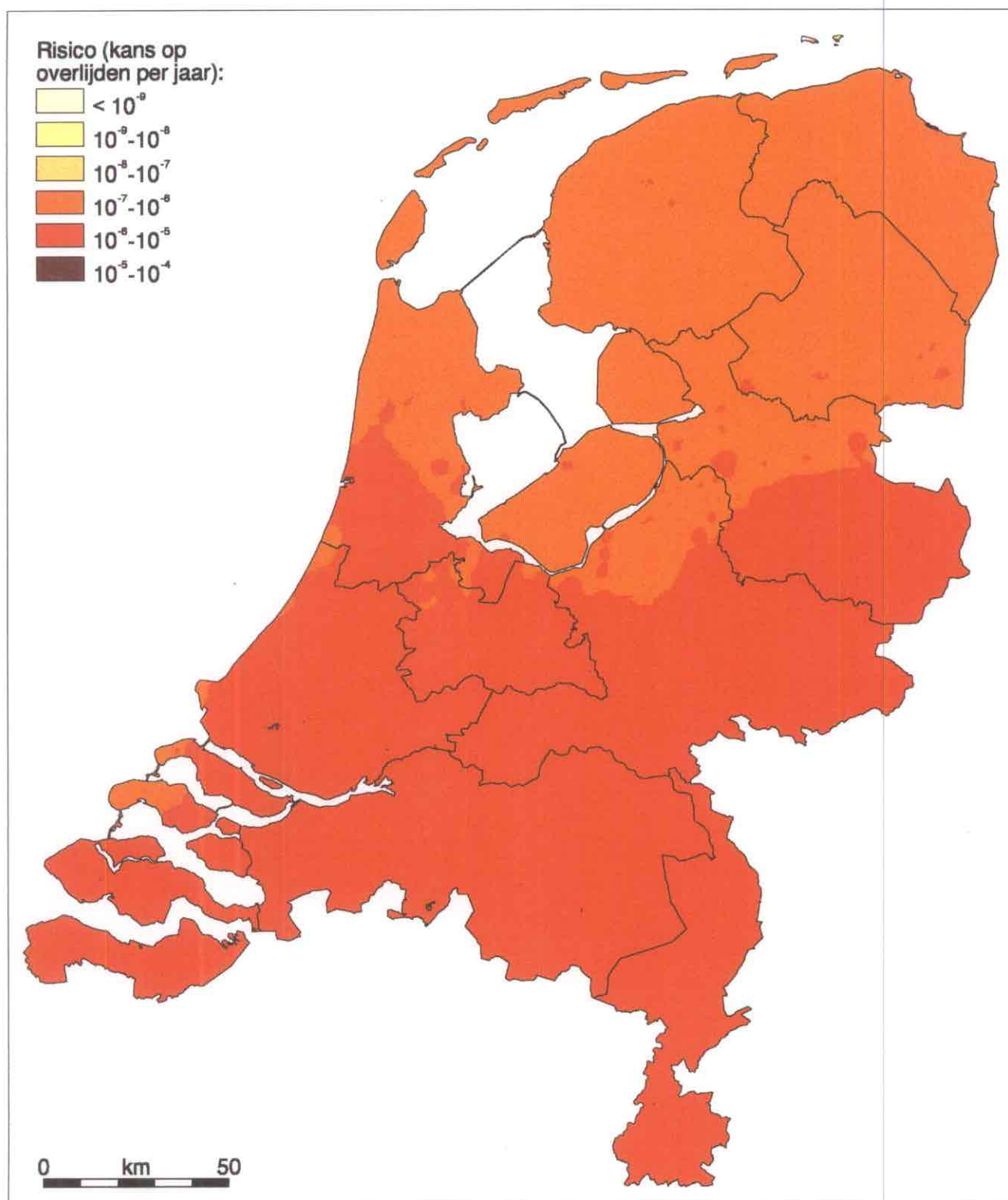
Kaart III-6b

Risico's als gevolg van acrylonitril afkomstig van binnenlandse en buitenlandse bronnen (zie paragraaf 4.3.3).



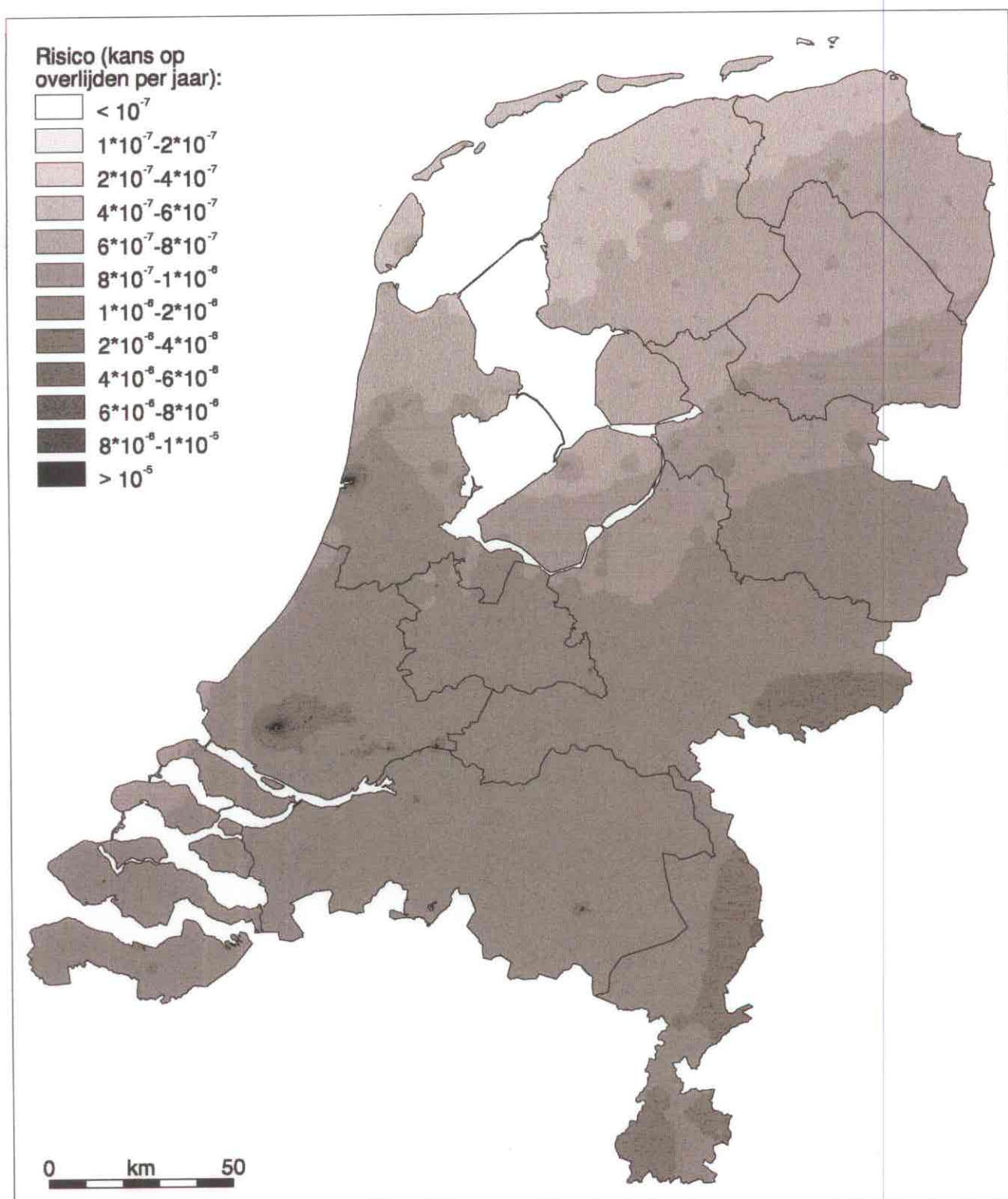
Kaart III-7a

Risico's als gevolg van benzo(a)pyreen, benzeen, ethyleenoxyde, vinylchloride, 1,2-dichloorethaan en acrylonitril afkomstig van binnenlandse bronnen (zie paragraaf 4.3.3).



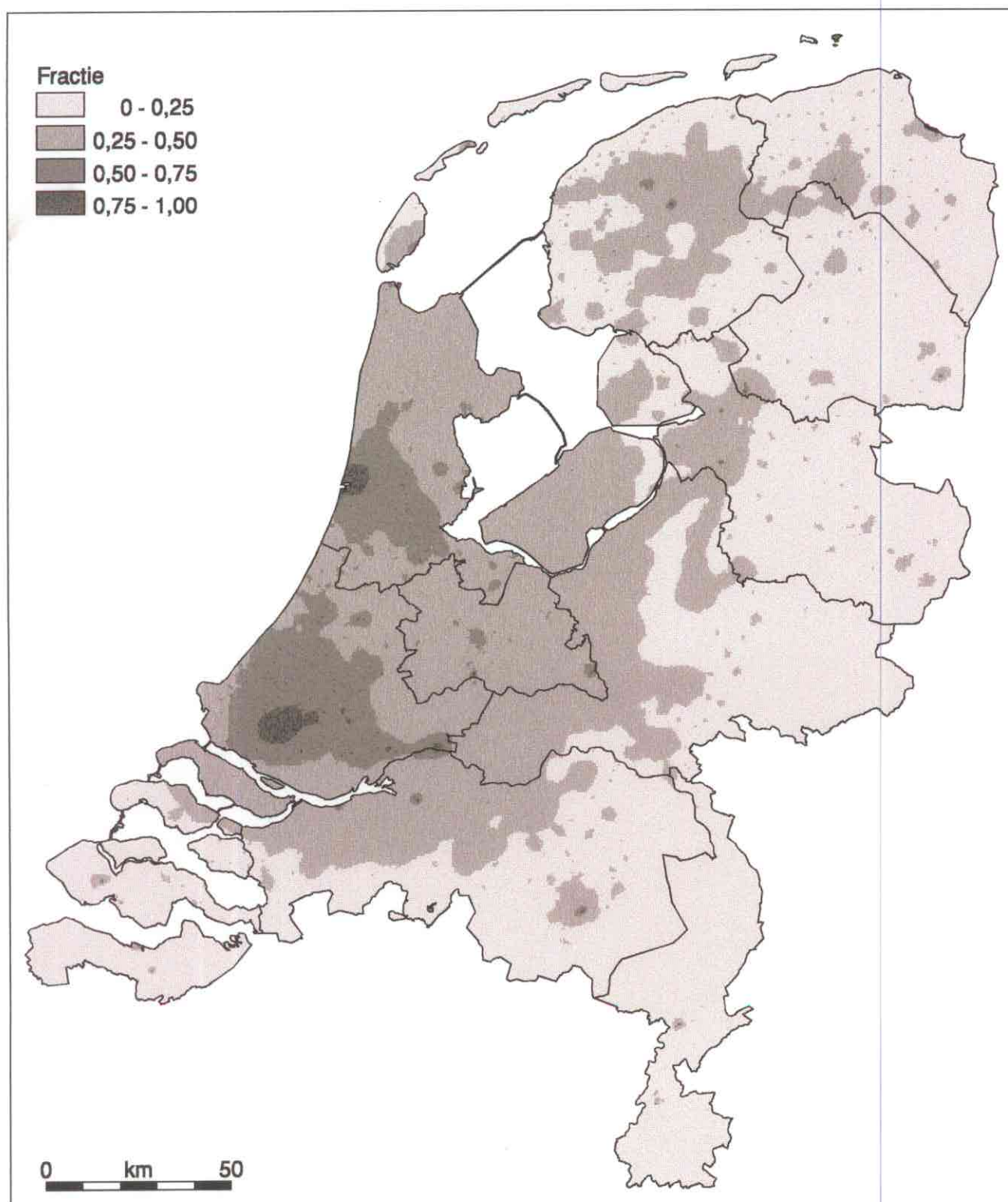
Kaart III-7b

Risico's als gevolg van benzo(a)pyreen, benzeen, ethyleenoxyde, vinylchloride, 1,2-dichloorethaan en acrylonitril afkomstig van binnenlandse en buitenlandse bronnen (zie paragraaf 4.3.3).



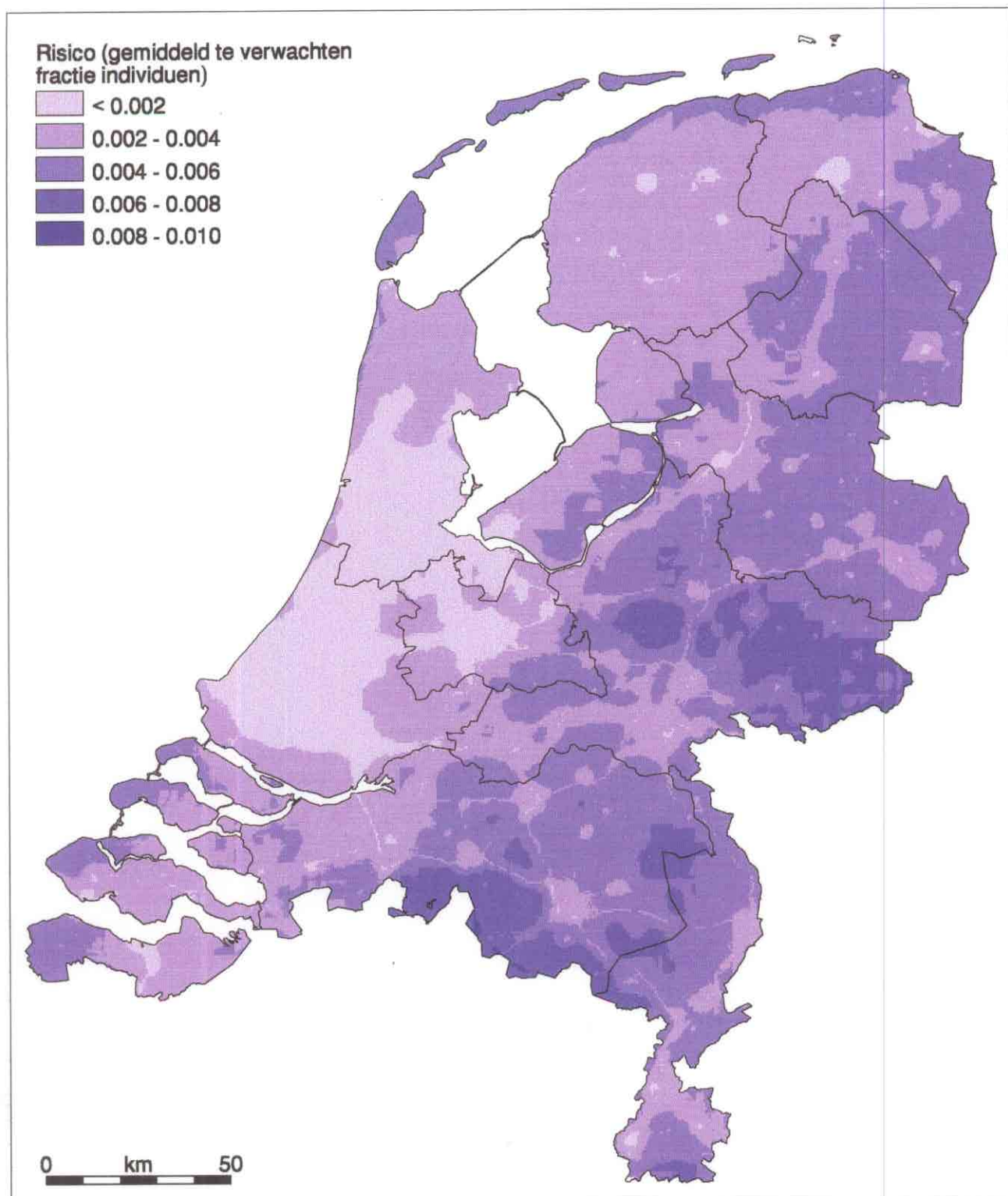
Kaart III-7c

Risico's als gevolg van benzo(a)pyreen, benzeen, ethyleenoxyde, vinylchloride, 1,2-dichloorethaan en acrylonitril afkomstig van binnenlandse en buitenlandse bronnen (zie paragraaf 4.3.3) (deze kaart toont dezelfde gegevens als kaart III-7b, maar met meer geografisch detail).



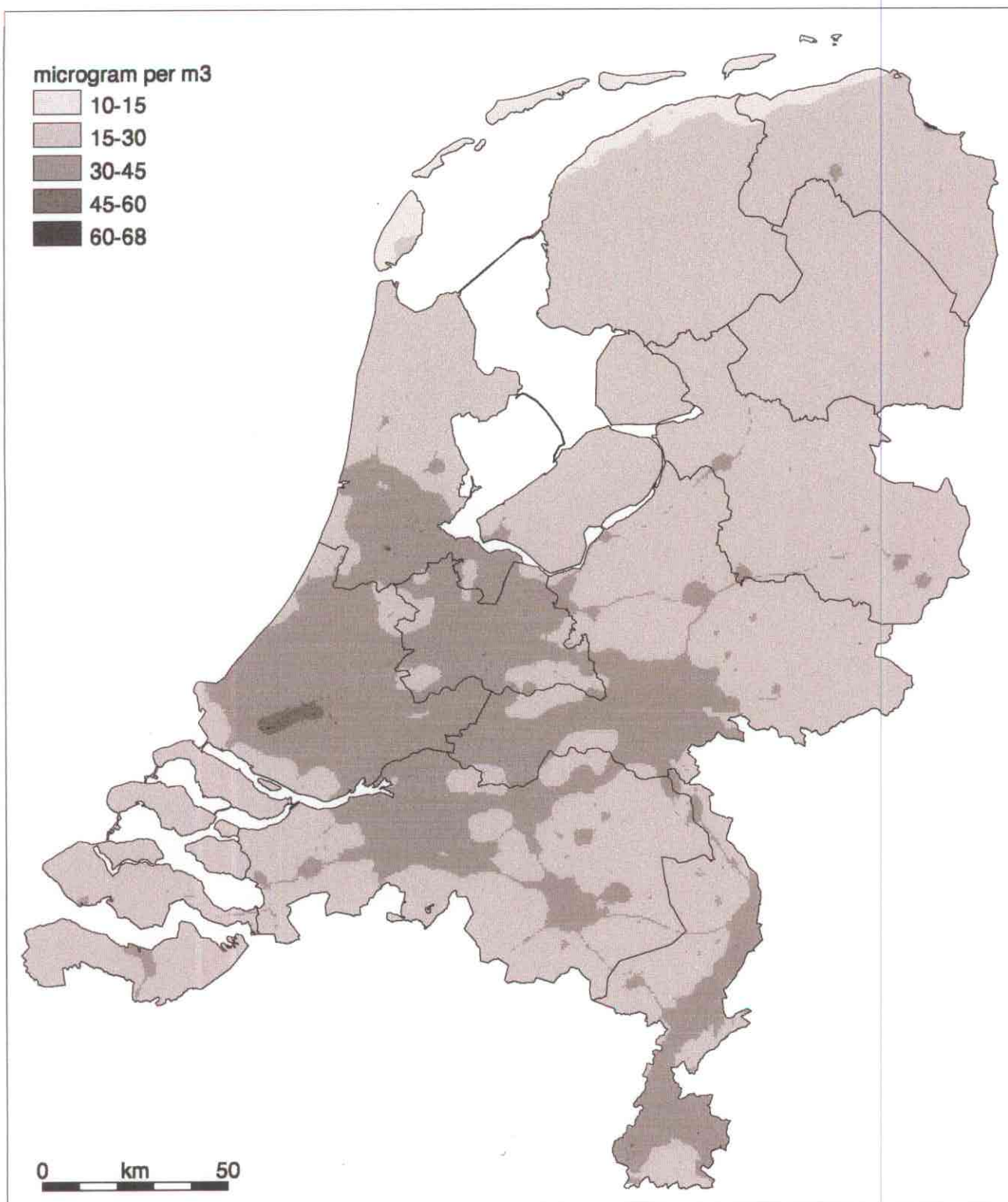
Kaart III-7d

Risico's afkomstig van binnenlandse bronnen gedeeld door risico's afkomstig van binnenlandse + buitenlandse bronnen (benzo(a)pyreen, benzeen, ethyleenoxyde, vinylchloride, 1,2-dichloorethaan en acrylonitril; zie paragraaf 4.3.3).

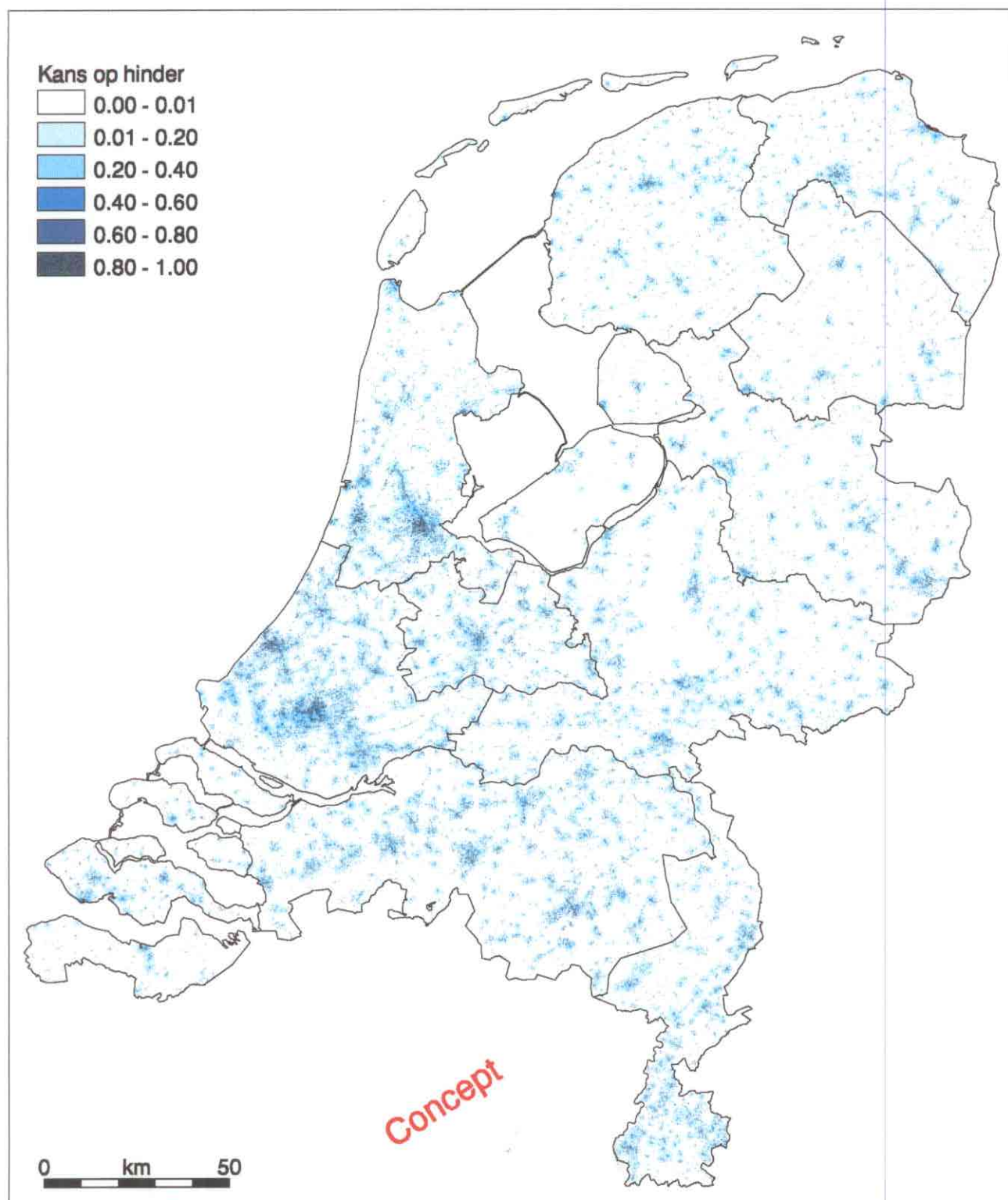


Kaart IV-1

Risico's, uitgedrukt in fractie individuen met 5% (reversibele) longfunctiedaling, als gevolg van ozon veroorzaakt door enerzijds fotochemische ozonvorming en anderzijds ozonafbraak als gevolg van NO_x -emissies in binnen- en buitenland (zie paragraaf 5.3.2).

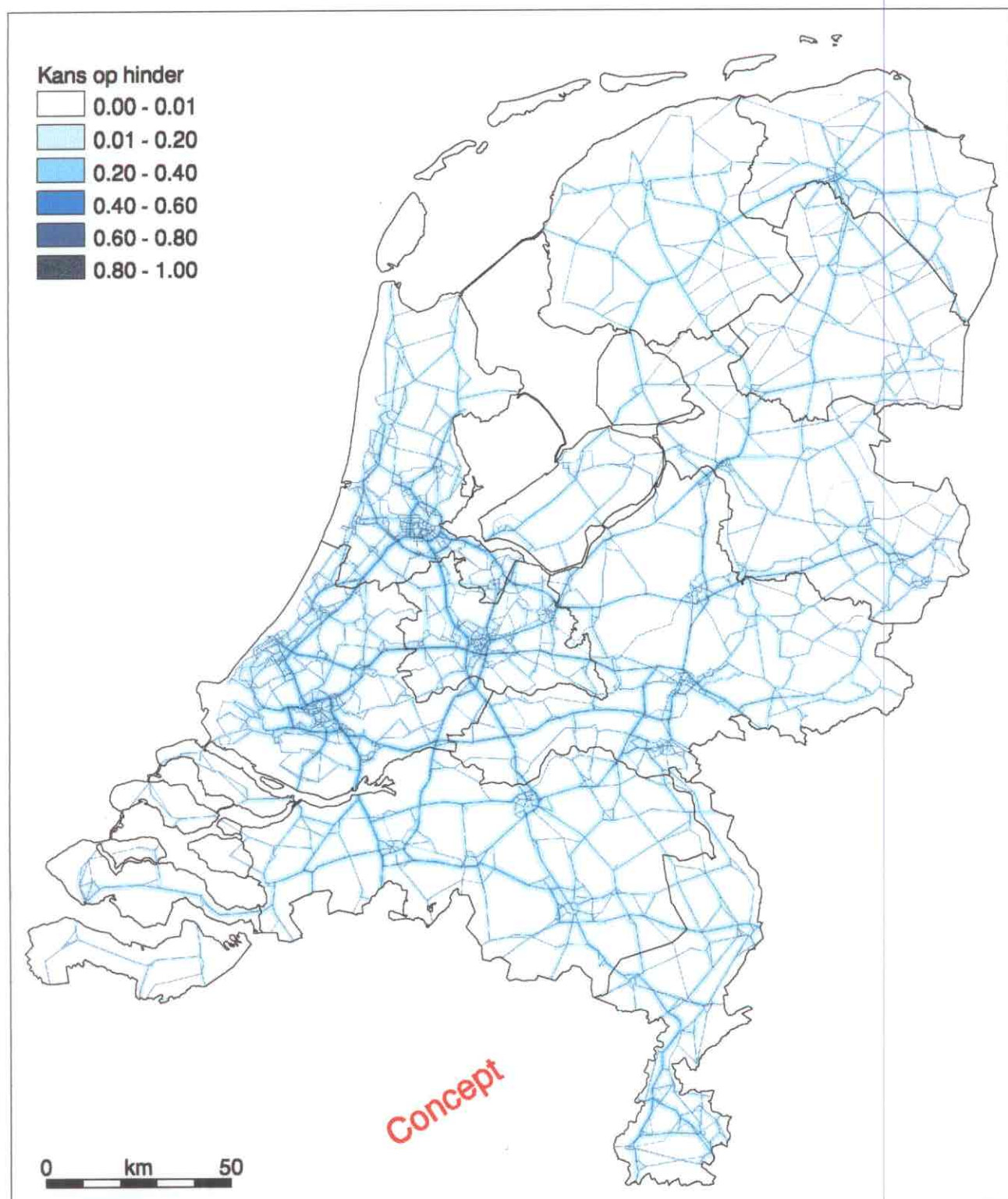


Kaart IV-2 Jaargemiddelde NO₂-concentratie veroorzaakt door NO_x-emissies in binnen- en buitenland (zie paragraaf 5.3.2).



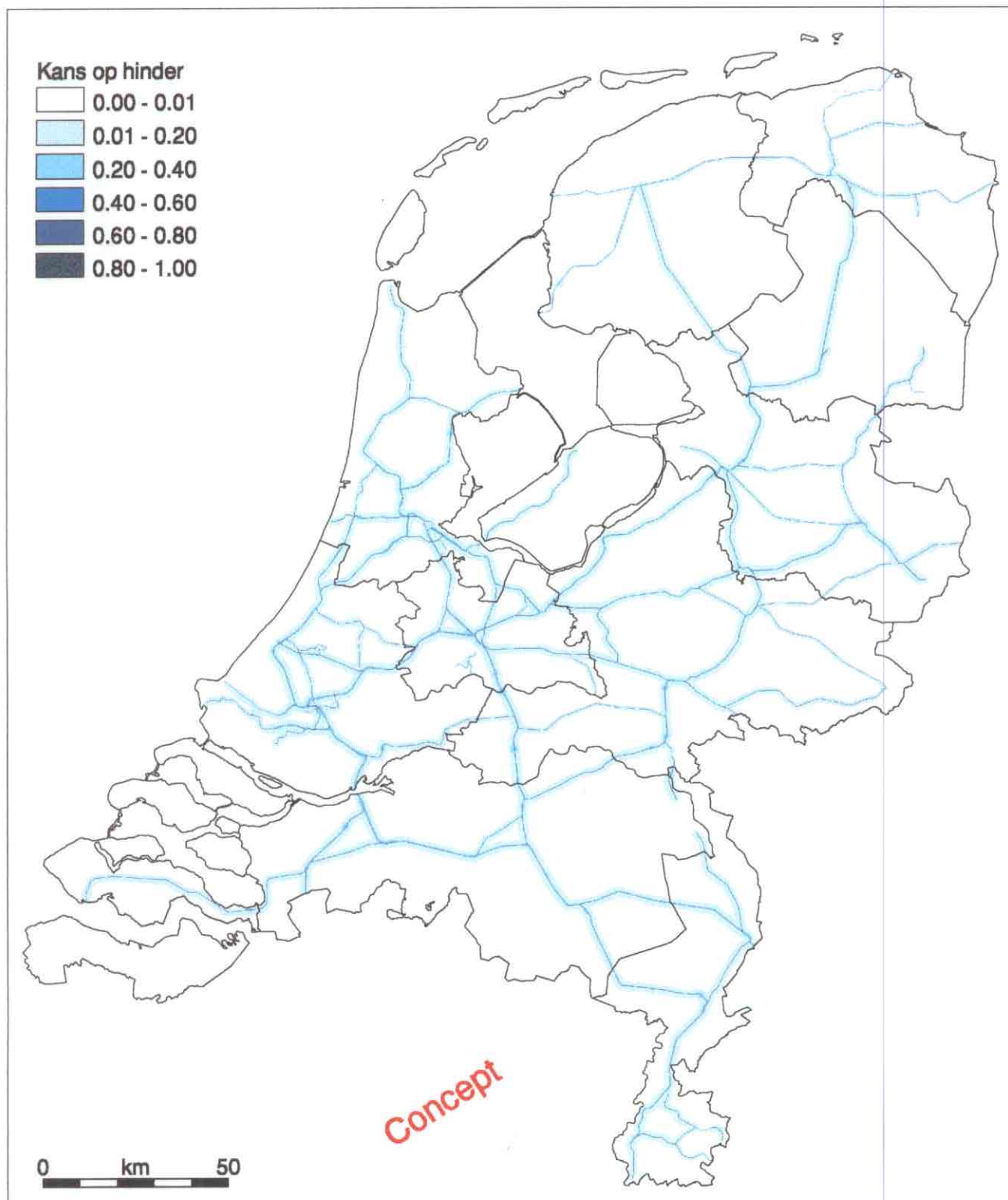
Kaart V-1

Kans op hinder als gevolg van geluid afkomstig van bedrijven
(zie paragraaf 6.3.2; bron: *project Landelijk Beeld Verstoring*).



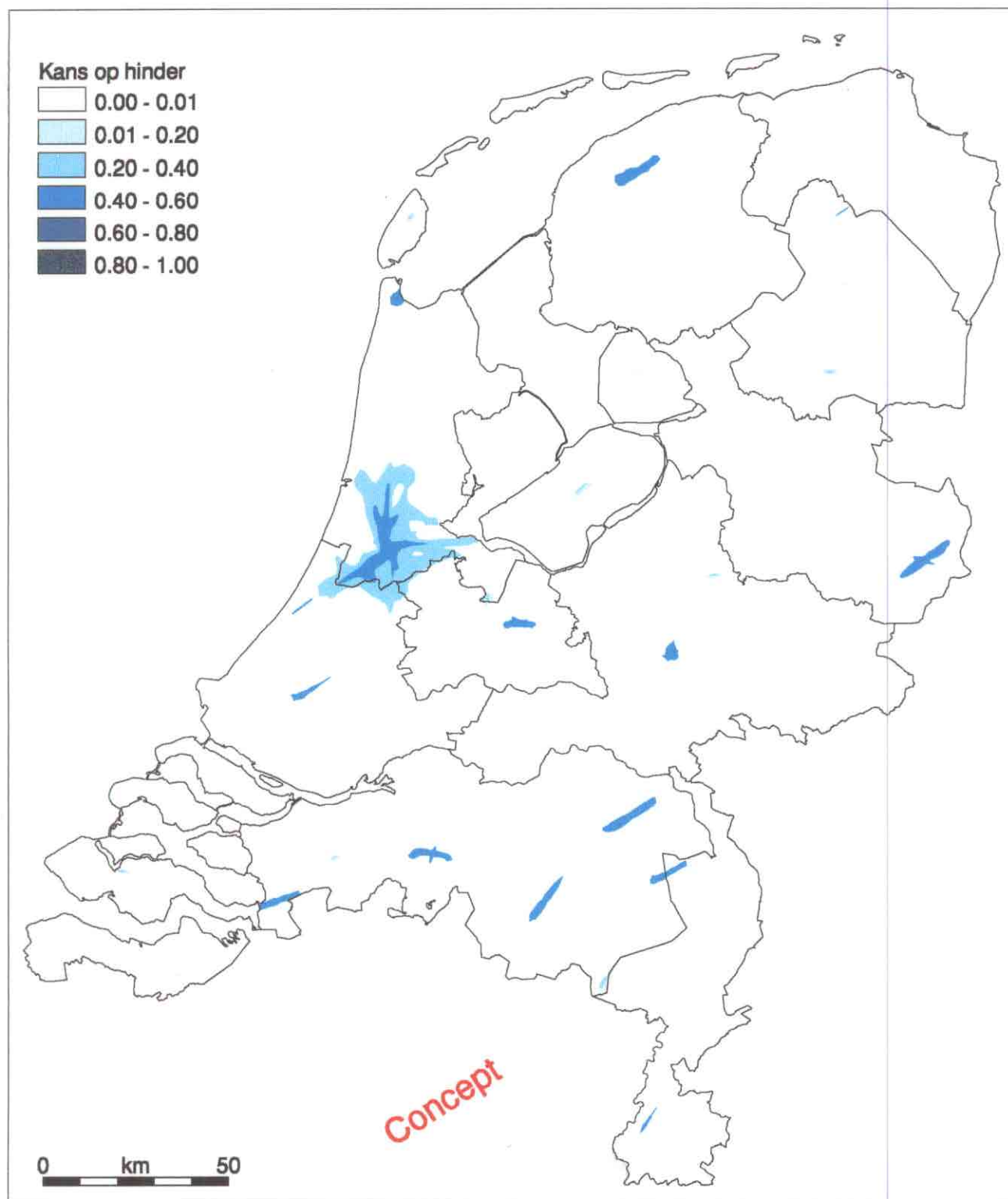
Kaart V-2

Kans op hinder als gevolg van geluid afkomstig van wegverkeer
(zie paragraaf 6.3.3; bron: *project Landelijk Beeld Verstoring*).



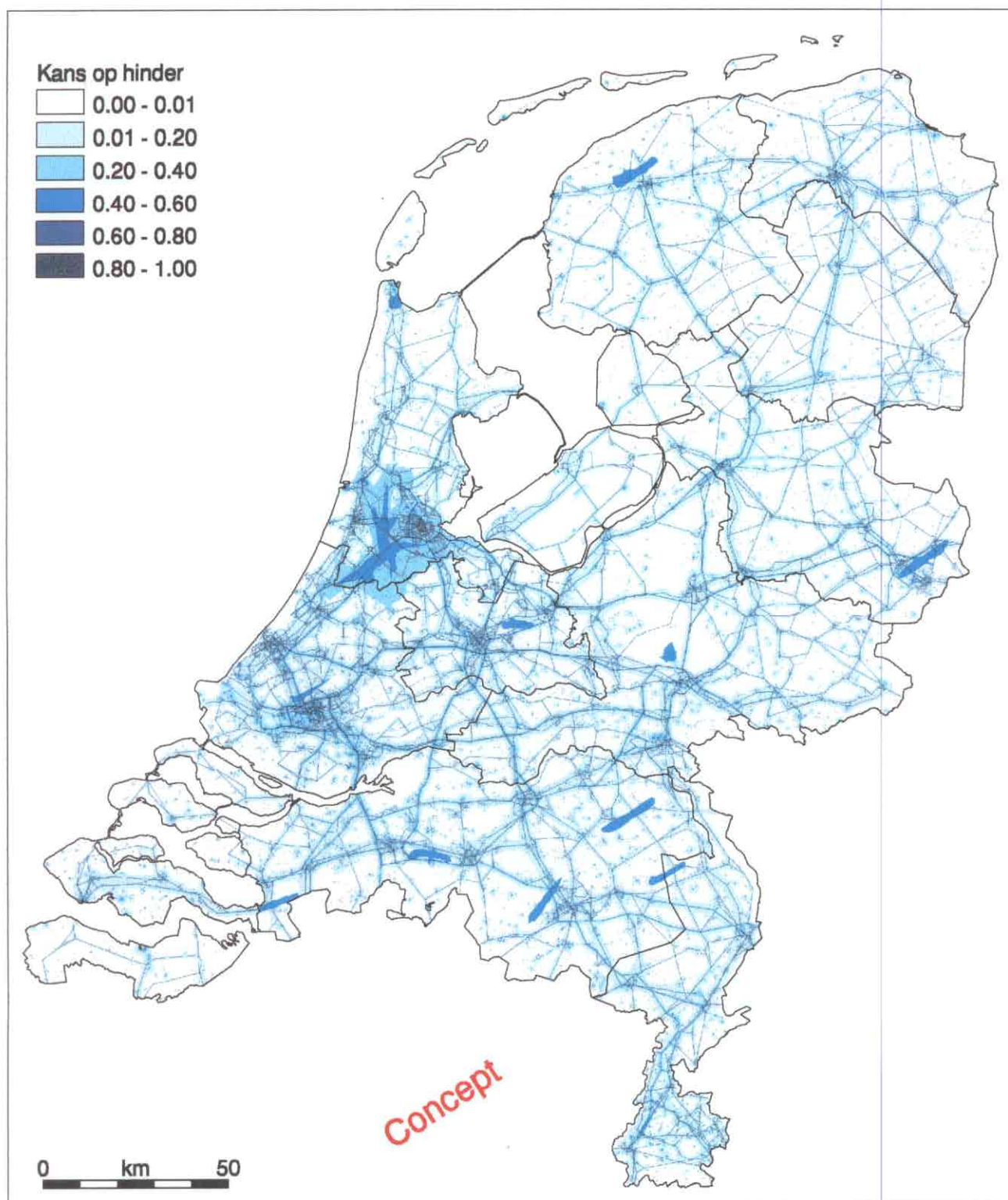
Kaart V-3

Kans op hinder als gevolg van geluid afkomstig van railverkeer
(zie paragraaf 6.3.4; bron: *project Landelijk Beeld Verstoring*).



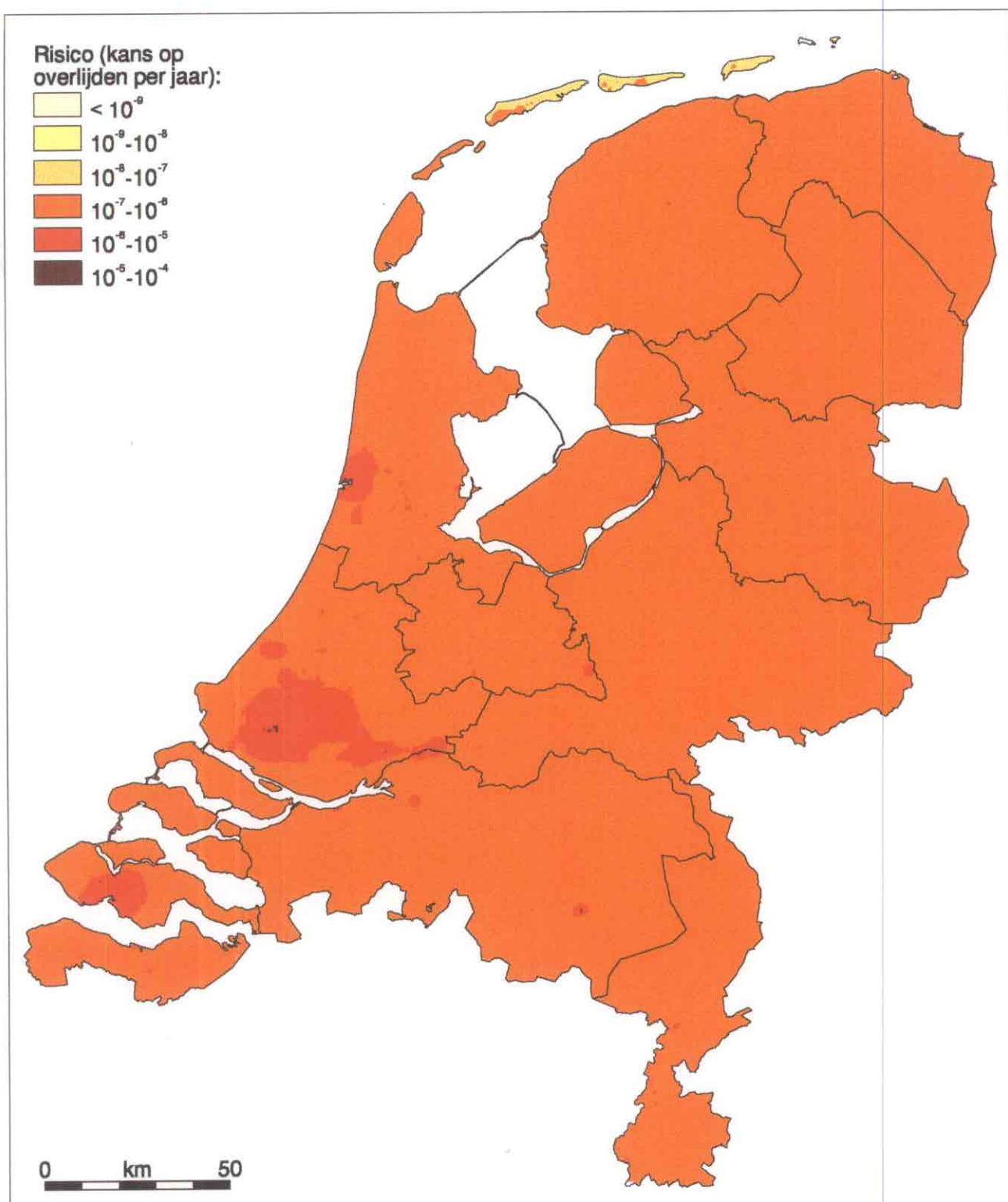
Kaart V-4

Kans op hinder als gevolg van geluid afkomstig van vliegverkeer
(zie paragraaf 6.3.5; bron: *project Landelijk Beeld Verstoring*).



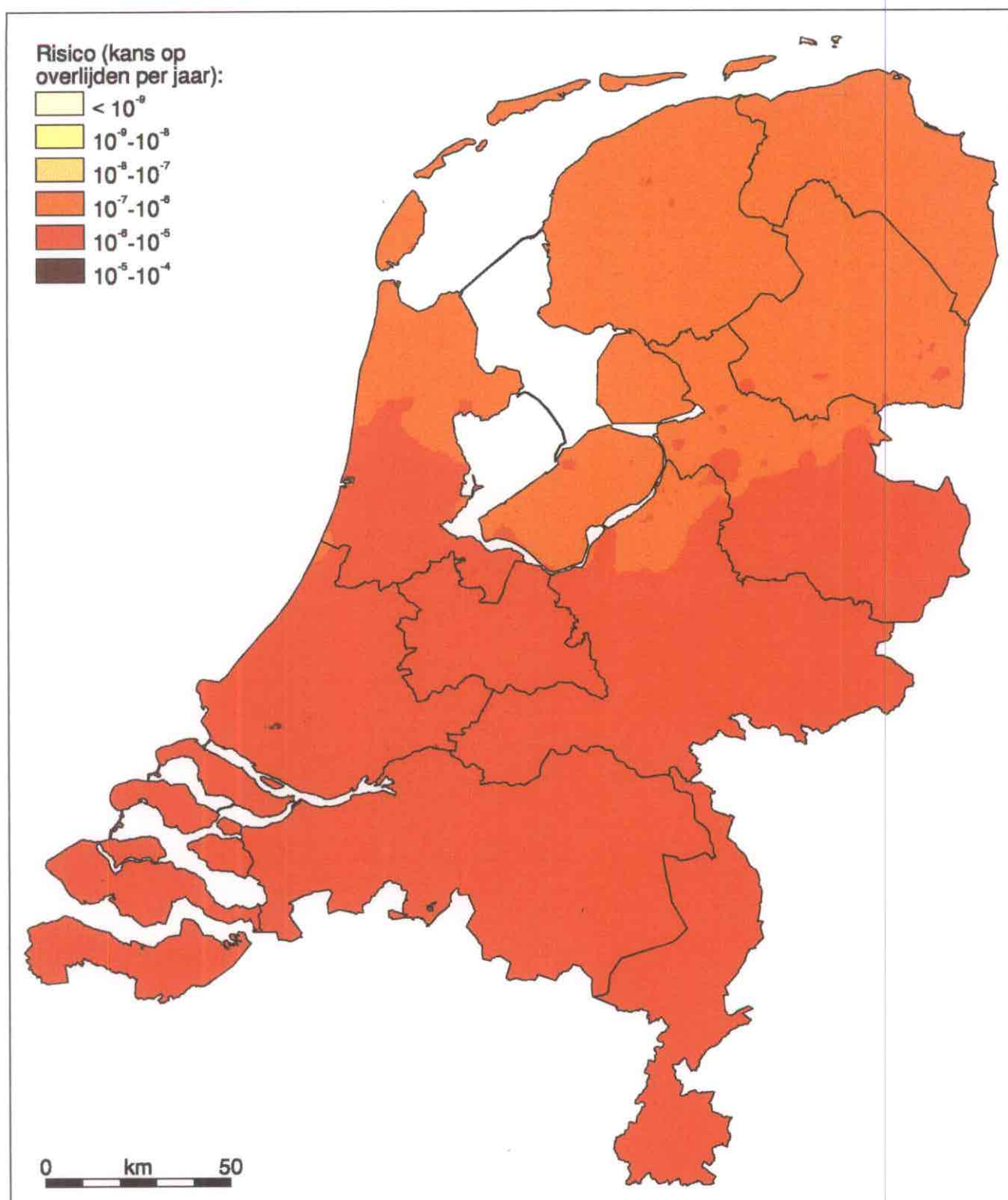
Kaart V-5

Kans op hinder als gevolg van geluid afkomstig van bedrijven, wegverkeer, railverkeer en vliegverkeer (zie paragraaf 6.3.6; bron: *project Landelijk Beeld Verstoring*).



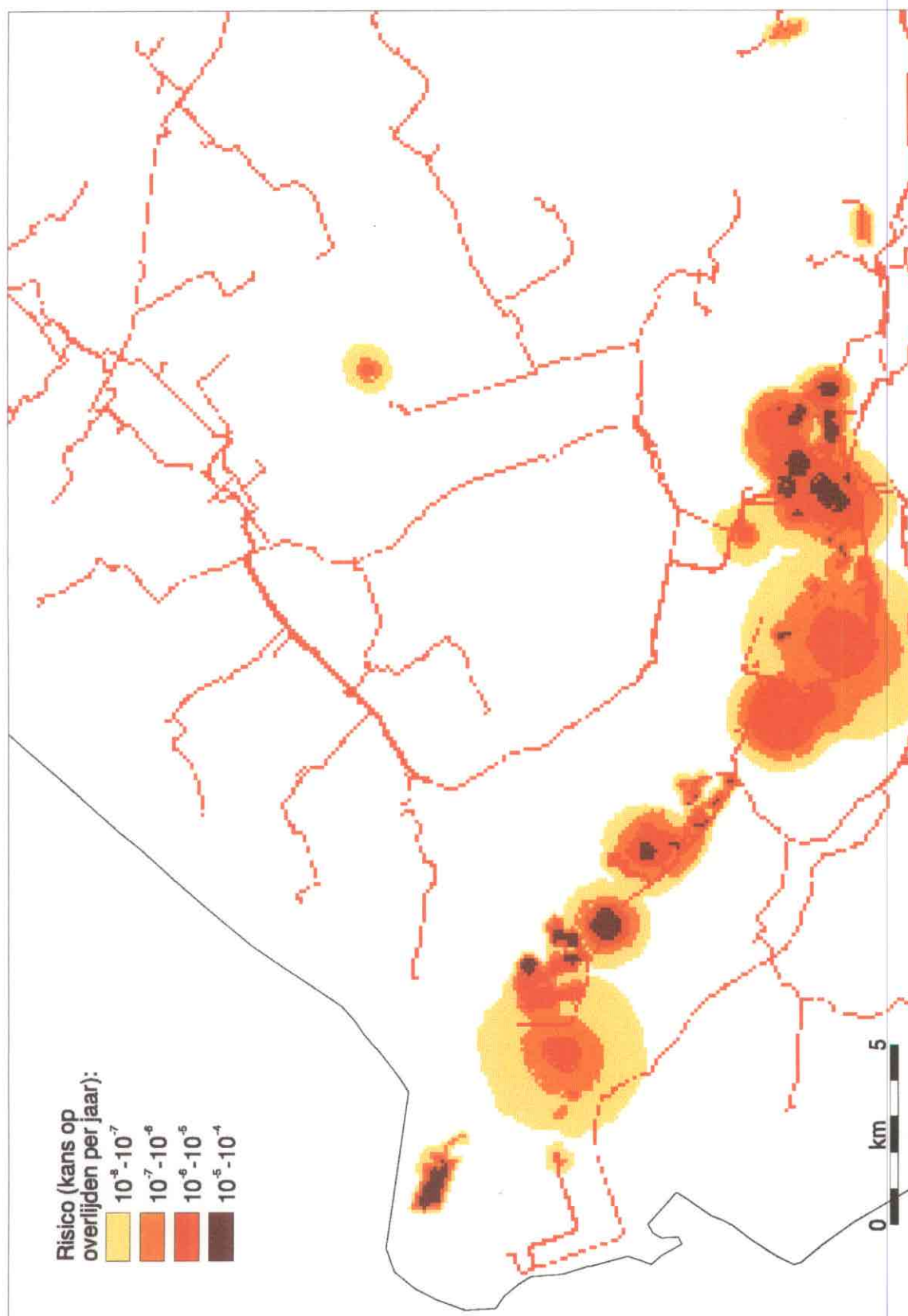
Kaart VI-1

Risico's als gevolg van de reguliere lozingen van radioactieve stoffen naar lucht door de nucleaire en niet-nucleaire industrie en als gevolg van stoffen afkomstig van binnenlandse bronnen (zie paragraaf 7.5).



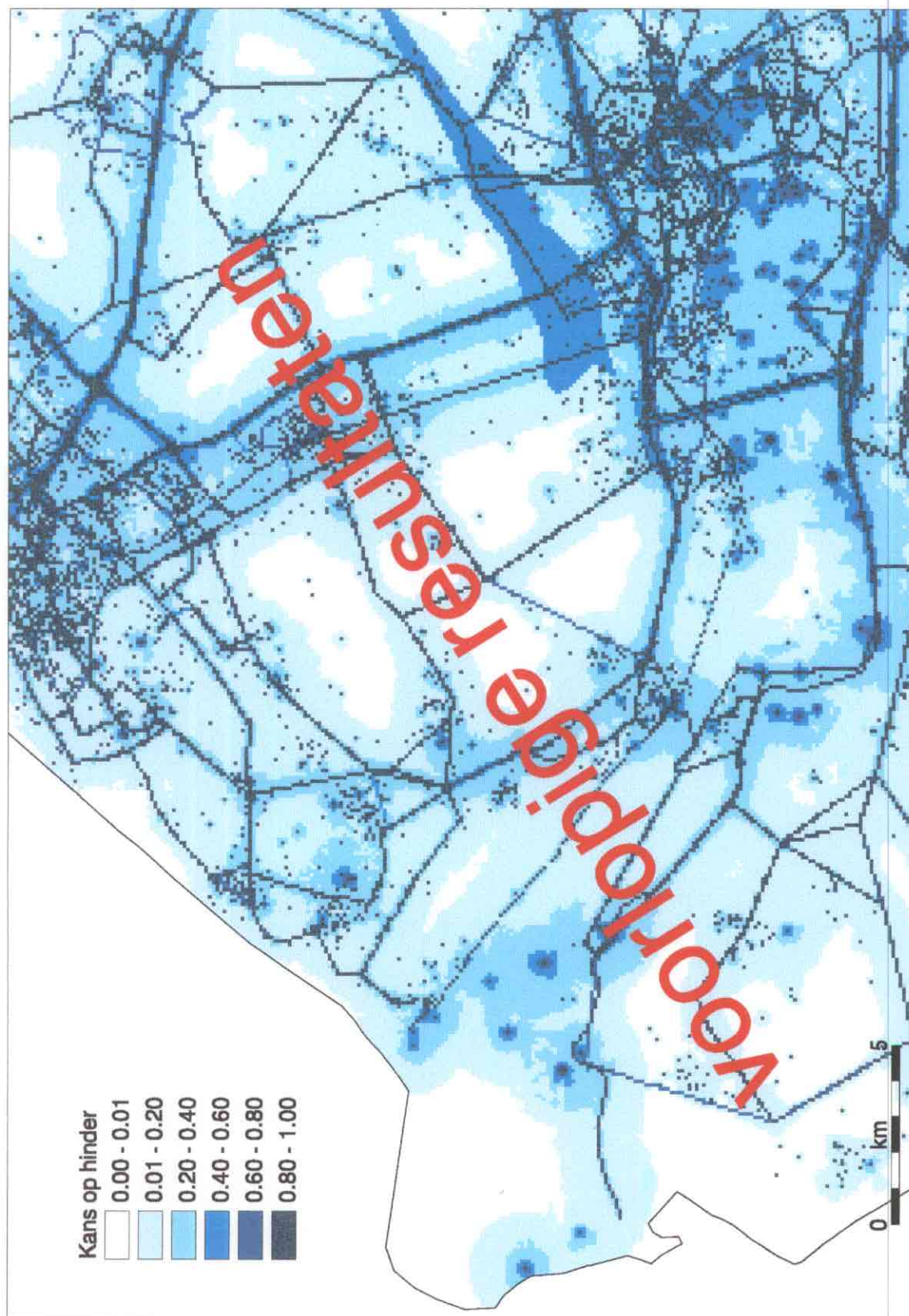
Kaart VI-2

Risico's als gevolg van de reguliere lozingen van radioactieve stoffen naar lucht door de nucleaire en niet-nucleaire industrie en als gevolg van stoffen afkomstig van binnenlandse en buitenlandse bronnen (zie paragraaf 7.5).



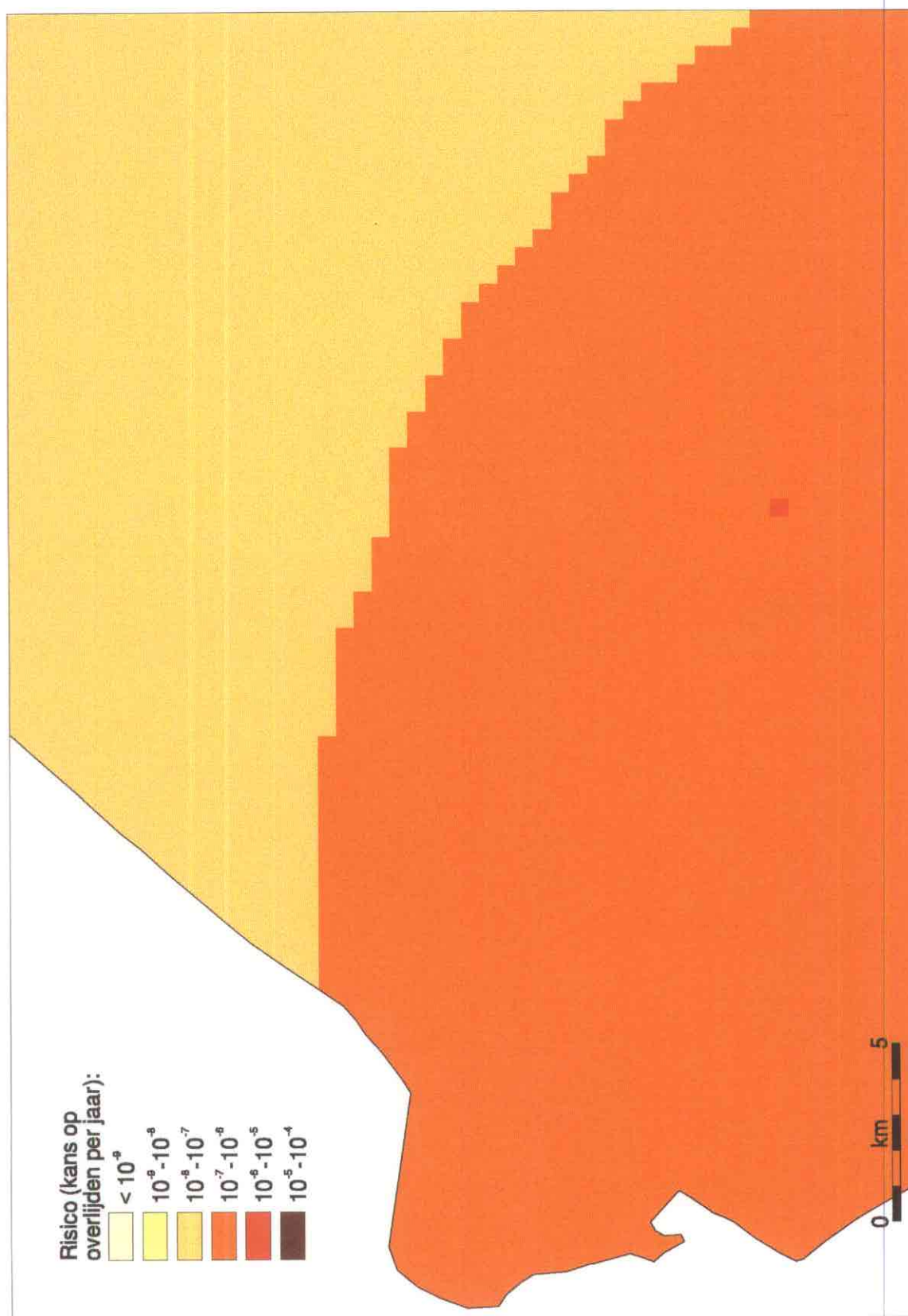
Kaart VII-1

Risico's externe veiligheid in het Rijnmond-gebied als gevolg van EVR-plichtige bedrijven, spoorwegemplacementen en hoge-druk-aardgaspijpleidingen (zie paragraaf 7.3).



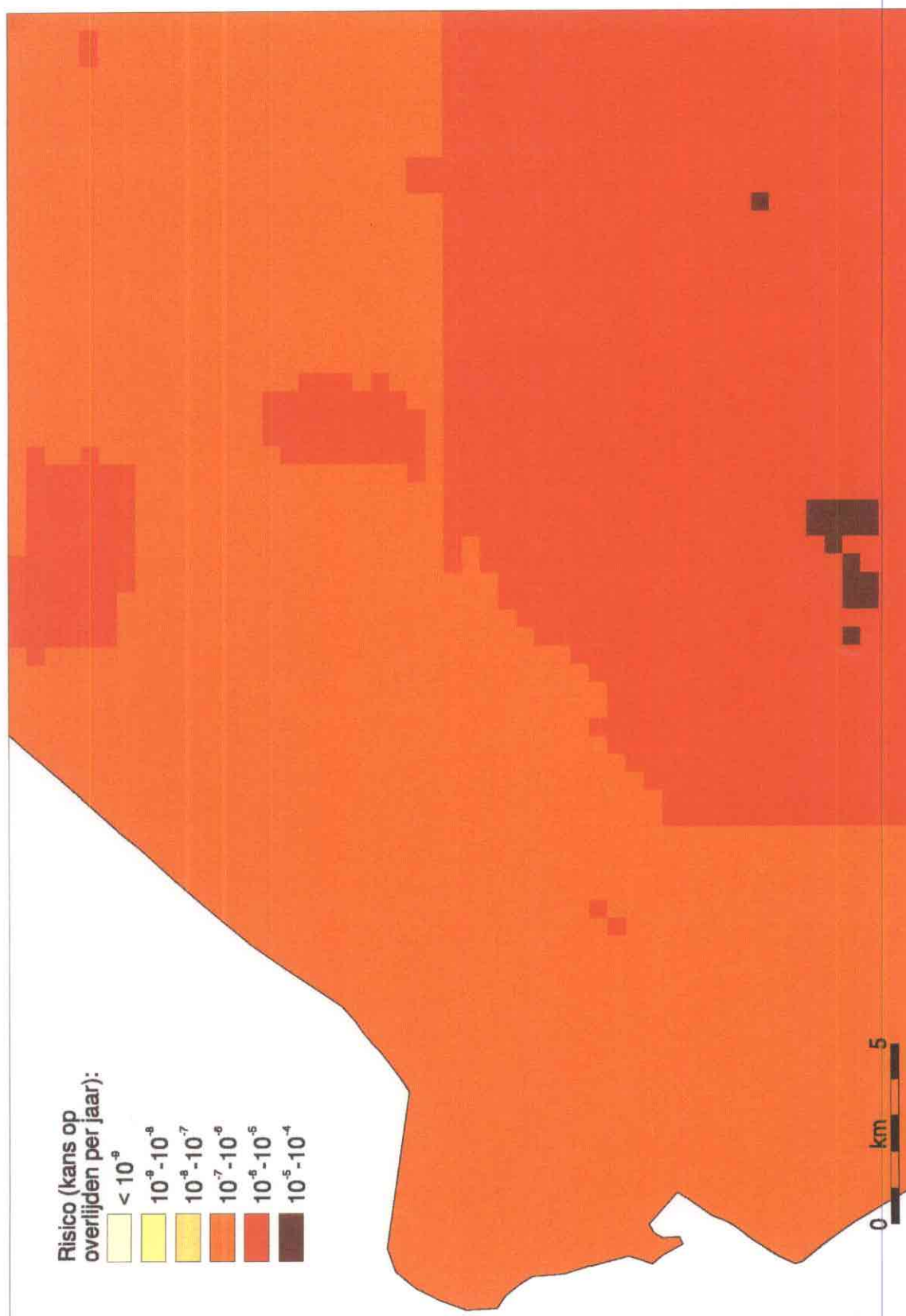
Kaart VII-2

Kans op hinder in het Rijnmond-gebied als gevolg van geluid afkomstig van bedrijven, wegverkeer, railverkeer en vliegverkeer (zie paragraaf 7.3; bron: project Landelijk Beeld Verstoring).



Kaart VII-3

Risico's in het Rijnmond-gebied als gevolg van de reguliere lozingen van radioactieve stoffen naar lucht door de nucleaire en niet-nucleaire industrie (zie paragraaf 7.3).



Kaart VII-4

Risico's in het Rijnmond-gebied als gevolg van benzo(a)pyreen, benzeen, ethyleenoxide, vinylchloride, 1,2-dichloorethaan en acrylonitril afkomstig van binnenlandse bronnen (zie paragraaf 7.3).