

61563
(24)

TNO-rapport
TNO-MEP – R 97/115

TNO Milieu, Energie
en Procesinnovatie

Laan van Westenek 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn
Telefoon 055 - 549 34 93
Fax 055 - 541 98 37

Milieu- en veiligheidseffecten verdiepte ligging rijksweg A4 te Leiderdorp

Datum
april 1997

Auteurs

- F.J. Verheij projectleiding, TNO Milieu,
Energie en Procesinnovatie
- C.J.H. van den Bosch lokale luchtverontreiniging,
TNO Milieu, Energie en
Procesinnovatie
- A.R. Eisses geluidhinder, TNO Technisch
Fysische Dienst TU Delft
- C.M.A. Jansen interne- en externe veiligheid,
TNO Milieu, Energie en
Procesinnovatie
- W.P.M. Mercx explosieveiligheid, TNO Prins
Maurits Laboratorium

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
kopie, microfilm of op welke andere
wijze dan ook zonder voorafgaande
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
Algemene Voorwaarden voor onder-
zoekopdrachten aan TNO, dan wel
de betreffende terzake tussen de
partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het
TNO-rapport aan direct belang-
hebbenden is toegestaan.

© 1997 TNO

Projectnummer
27606

Bestemd voor
Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland
ir. N.A. van der Mark en J.J. van Ettinger
Postbus 556
3000 AN Rotterdam

Het kwaliteitssysteem van TNO Milieu, Energie en
Procesinnovatie voldoet aan ISO 9001.

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie is een
nationaal en internationaal erkend kennis- en
contractresearch instituut voor bedrijfsleven en
overheid op het gebied van duurzame ontwikkeling en
milieu- en energiegerichte procesinnovatie.



Nederlandse Organisatie voor toegepast
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de
Algemene Voorwaarden voor onderzoekopdrachten aan
TNO zoals gedeponeerd bij de
Arrondissementsrechtbank en de Kamer van Koophandel
te 's-Gravenhage

Samenvatting

Op dit moment is Rijkswaterstaat directie Zuid-Holland (RWS-ZH) bezig met de uitvoering van de "Trajectstudie/m.e.r. voor rijksweg A4 Burgerveen-Leiden". Het doel hiervan is de voorbereiding van een tracébesluit door de ministers van Verkeer en Waterstaat en VROM over het al dan niet verbreden van de A4.

In deze trajectstudie/m.e.r. is een variant van het deeltraject van de rijksweg A4 dat door Leiderdorp loopt onderzocht. Het betreft een verbreding van de bestaande rijksweg, dat in Leiderdorp over een lengte van 1090 m verdiept wordt aangelegd.

De randvoorwaarden voor de studie waren:

- de weg moet voor alle verkeer beschikbaar zijn, ook voor het transport van gevaarlijke stoffen
- de doorsnijding van het woongebied door de rijksweg dient zoveel mogelijk te worden beperkt, zowel qua aanwezigheid als qua uitstraling van negatieve effecten in de omgeving.

TNO heeft de effecten in het jaar 2010 (referentiejaar) berekend voor de volgende milieu-aspecten:

- geluidhinder
- lokale luchtverontreiniging
- interne- en externe veiligheid.

Deze effecten zijn voor de omgeving en voor het gebruik en beheer van de weg kwantitatief bepaald voor de volgende alternatieven:

1. een open bak, de referentie-situatie
2. een deels-open-deels-overdekte situatie, aangeduid met "dodo"
3. een tunnel
4. een luifel, eventueel uitgevoerd met een geluidscherm in de middenberm

Daarnaast is in het onderzoek kwalitatief bepaald wat de effecten voor de geluidhinder en de explosieveiligheid voor de omgeving zijn van:

5. een horizontaal geluidschermenrooster als aanvullende voorziening in de alternatieven 1, 2, 4a en 4b.

Vanuit de TNO-studie gezien, is de luifel situatie (alternatief 4) het meest aantrekkelijke alternatief voor de aanleg van het deeltraject van de rijksweg A4 te Leiderdorp. Toepassing van het horizontaal schermenrooster resulteert daarbij nog eens in een forse extra reductie van het geluidniveau langs het betreffende deeltraject.

Elk van de andere alternatieven heeft specifieke voordelen op een of twee van de onderzochte milieu-aspecten. Er zijn echter vele aspecten die een rol spelen bij de keuze van een alternatief voor de aanleg van een rijksweg. Naast de door TNO

onderzochte aspecten zijn dat bijvoorbeeld kosten en inpasbaarheid in de stedelijke omgeving (zie studie Bureau Zandvoort).

Het verdient aanbeveling om dit keuzevraagstuk gestructureerd aan te pakken. Dat vraagt om een volledig en objectief inzicht in alle aspecten die een rol spelen in dit vraagstuk. Het verdient aanbeveling om alle actoren zoveel mogelijk te betrekken in het proces waarin dit vraagstuk wordt opgelost.

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
1. Inleiding	7
1.1 Situatieschets	7
1.2 Doelstelling	7
1.3 Leeswijzer	8
2. Beschrijving van het deeltraject rijksweg A4 te Leiderdorp	9
2.1 Alternatieven van de verdiepte ligging van de A4 te Leiderdorp	9
2.1.1 Alternatief 1: “open bak”, referentie-situatie (modelnaam: “grens”)	10
2.1.2 Alternatief 2: “dodo”(modelnaam: “corridor”)	10
2.1.3 Alternatief 3: “tunnel” (modelnaam “weefsel”)	11
2.1.4 Alternatief 4: “luifel” (modelnaam “zone”/“grens”)	12
2.1.5 Alternatief 5: ‘schermenrooster’	12
2.2 Uitgangspunten voor de studie	12
2.3 Projectdocumenten	13
3. Deelaspect geluidhinder	15
3.1 Geluidbelastingen	15
3.2 Rekenmodel	15
3.3 Aanvullende uitgangspunten	18
3.3.1 Verkeersgegevens	18
3.3.2 Wegbreedte, rijstroken en rijlijnen	19
3.3.3 Wegdek	19
3.3.4 Geluidabsorptie en geluidisolatie	20
3.3.5 Waarneempunten	21
3.3.6 Dwarsprofielen	22
3.4 Resultaten van de berekeningen	24
3.5 Nauwkeurigheid van de berekeningen	30
3.5.1 Algemeen	30
3.5.2 Rekenmodellen	30
3.5.3 Modellerings van het bodemoppervlak	30
3.5.4 Wegdekcorrecties	31
3.6 Aanvullende overdrachtsmaatregelen	31
3.6.1 Luifel in de middenberm	31
3.6.2 Schermenrooster	32
3.7 Literatuur bij het deelaspect geluidhinder	33
4. Deelaspect lokale luchtverontreiniging	35
4.1 Inleiding	35
4.2 Aanvullende uitgangspunten	35
4.3 Toetsingscriteria voor luchtkwaliteit en blootstelling	36
4.3.1 Algemene normen voor de luchtkwaliteit	36

4.3.2	Toetsingscriteria voor deze studie	37
4.4	Berekeningsmethoden en invoergegevens.....	38
4.4.1	Berekening van de emissies	38
4.4.2	Berekening van de concentraties langs de weg.....	40
4.5	Resultaten deelaspect lokale luchtverontreiniging	43
4.6	Literatuur bij het deelaspect lokale luchtverontreiniging.....	44
5.	Deelaspect interne- en externe veiligheid.....	47
5.1	“Normale” ongevallen	48
5.1.1	“Normale” ongevallen en brand.....	49
5.1.2	Effecten en schade-afstanden.....	49
5.1.3	Frequentie van voorkomen.....	50
5.2	Ongevallen met gevaarlijke stoffen.....	52
5.2.1	Categorisering transport gevaarlijke stoffen	52
5.2.2	Effecten en schade-afstanden.....	53
5.2.3	Gaswolkexplosies.....	62
5.2.4	Frequentie van voorkomen.....	65
5.3	Resultaten deelaspect interne- en externe veiligheid	67
5.3.1	Interne veiligheid	67
5.3.2	Externe veiligheid	68
5.4	Literatuur bij het deelaspect interne- en externe veiligheid	70
6.	Conclusies en aanbevelingen.....	73
6.1	Conclusies	73
6.2	Aanbevelingen	75
7.	Verantwoording	77
Bijlage A	Figuren, resultaat van het TNO-onderzoek	
A.1	Geluidcontouren	
A.2	NO ₂ -concentraties in lucht	
A.3	Interne- en externe veiligheid	
Bijlage B	Berekening geluidbijdragen van diffuse geluidvelden	
B.1	Bronsterkte van oppervlakken in de lengterichting van een tunnel of overkapping	
B.2	Bronsterkte van in- en uitgangen van tunnels en overkappingen	
B.3	Bijdrage van diffuus geluidveld door hogere-orde reflecties	
Bijlage C	Berekening van de schadelengten van ongevallen in een tunnelbuis	
C.1	Inleiding	
C.2	Schadelengten	
C.2.1	Schadelengte door hete verbrandingsgassen	
C.2.2	Schadelengte door brand bij ‘normale’ ongevallen	
C.2.3	Schadelengte bij brand van een benzinetankauto	
C.2.4	Schadelengte bij vrijkomen van toxisch gas (bij gasflessen transport)	

Bijlage D	Berekening van de vluchtsnelheid
	D.1 Inleiding
	D.2 Berekening van de vluchtsnelheid
	D.2.1 Berekening volgens AEA & TNO
	D.2.2 Berekeningsmethode volgens BiZa
	D.2.3 Gehanteerde vluchtsnelheid
	D.3 Tijdstip van vluchten
Bijlage E	Gasexplosies
	E.1 Het mechanisme van een gasexplosie
	E.2 Gasexplosies in tunnels en overkapte wegen
	E.2.1 Gasexplosies in tunnels
	E.2.2 Onderzoek naar gasexplosies in tunnels
	E.2.3 Onderzoek naar gasexplosies in overkapte wegen
	E.2.4 Evaluatie van het verrichte onderzoek
	E.3 Verloop van de gasexplosie bij de verschillende alternatieven
	E.4 Effecten in de omgeving ten gevolge van de explosieblast

1. Inleiding

In de “Trajectstudie/m.e.r. voor rijksweg A4 Burgerveen-Leiden” wordt door Rijkswaterstaat directie Zuid-Holland (RWS-ZH) onder andere de verbreding van de bestaande rijksweg onderzocht. Het doel van deze studie is de voorbereiding van een tracébesluit door de ministers van Verkeer en Waterstaat en VROM over het al dan niet verbreden van de A4.

1.1 Situatieschets

Een deel van de bestaande en te verbreden weg loopt door de gemeente Leiderdorp. Hier wordt ook de Oude Rijn gekruist. Een van de varianten van RWS-ZH betreft een verdiepte ligging van dit deeltraject. De A4 wordt dan over een lengte van 1090 m verdiept aangelegd tussen de Oranjewijk en Kerkwijk.

De verbreding van de rijksweg levert in de bebouwde kom van Leiderdorp een forse doorsnijding. De aanwezigheid en het gebruik van grootschalige infrastructuur en het woon- en verblijfsklimaat in de directe omgeving zijn op het beschouwde deeltraject strijdig met elkaar. Enerzijds moet de weg voor alle verkeer beschikbaar zijn, ook voor het transport van gevaarlijke stoffen. Anderzijds dient de doorsnijding van de rijksweg zoveel mogelijk te worden beperkt, zowel qua aanwezigheid als qua uitstraling van negatieve effecten in de omgeving.

RWS-ZH heeft TNO opdracht gegeven om de effecten voor de omgeving en voor het gebruik en beheer van de weg te bepalen voor een verdiepte ligging van de rijksweg A4 bij de passage Leiderdorp. Voor het betreffende deeltraject waren de volgende alternatieven onderwerp van studie:

1. een open bak, de referentie-situatie
2. een deels-open-deels-overdekte situatie, aangeduid met “dodo”
3. een tunnel
- 4a. een luifel
- 4b. een luifel aangevuld met een geluidscherm in de middenberm
5. een horizontaal geluidschermenrooster als aanvullende voorziening in de alternatieven 1, 2, 4a en 4b.

1.2 Doelstelling

Het doel van het project is om voor de volgende milieu-aspecten kwantitatief te onderzoeken wat de gevolgen zijn voor het weggebruik en het wegontwerp alsmede voor de omgeving voor elk van de genoemde alternatieven van het deeltraject A4 te Leiderdorp:

- geluidhinder,
- lokale luchtverontreiniging,
- interne- en externe veiligheid.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor het jaar 2010, het referentiejaar. Dit rapport beschrijft de resultaten en de conclusies die TNO hieruit heeft getrokken. Het TNO-onderzoek is afgestemd op het onderzoek dat Bureau Zandvoort heeft uitgevoerd naar de uitvoeringswijze en de inpassing van de rijksweg A4 in de stedelijke structuur van Leiderdorp.

1.3 Leeswijzer

De opbouw van dit rapport is als volgt.

Hoofdstuk 2 beschrijft beknopt de verschillende alternatieven voor het traject van de rijksweg A4 te Leiderdorp. Tevens is hierin een overzicht gegeven van de uitgangspunten die TNO heeft gehanteerd voor het uitvoeren van de berekeningen van de milieu- en veiligheidseffecten.

De gevolgde aanpak, de gebruikte methodieken en de resultaten, inclusief de vergelijking met bestaande normen, worden per deelaspect beschreven in de hoofdstukken 3 (geluidhinder), 4 (lokale luchtverontreiniging) en 5 (interne- en externe veiligheid).

In hoofdstuk 6 worden de conclusies getrokken en enkele aanbevelingen gedaan. Om de leesbaarheid te bevorderen, zijn de referenties van literatuur en documenten per hoofdstuk opgenomen.

De resultaten van de berekeningen zijn onder andere in de vorm van contourplots gepresenteerd. Deze plots zijn opgenomen in bijlage A. De overige bijlagen bevatten achtergrondinformatie en enkele specifieke berekeningen.

2. Beschrijving van het deeltraject rijksweg A4 te Leiderdorp

Paragraaf 2.1 beschrijft de verschillende alternatieven die onderwerp van studie zijn voor het deeltraject van de rijksweg A4 te Leiderdorp, zie ook [1], [2] en [3]. In paragraaf 2.2 is een overzicht gegeven van de uitgangspunten die TNO heeft gehanteerd voor de berekeningen van de milieu- en veiligheidseffecten. Aanvullende, specifieke uitgangspunten zijn opgenomen in de hoofdstukken 3, 4 en 5.

2.1 Alternatieven van de verdiepte ligging van de A4 te Leiderdorp

De bestaande rijksweg A4 wordt verbreed en bij Leiderdorp tevens verdiept. Naast de referentie-situatie (“open bak”) zijn op het traject van het aquaduct onder de Oude Rijn tot de Ericaleaan, tussen de Oranjewijk en Kerkwijk, meerdere alternatieven onderwerp van onderzoek geweest [1].

In het onderzoek van Bureau Zandvoort naar de inpassing van de infrastructuur zijn vier modellen als mogelijke oplossing naar voren gekomen. De door TNO door te rekenen alternatieven zijn in overleg met RWS-ZH afgestemd met de modellen van Bureau Zandvoort [2]. In eerste instantie zijn drie combinaties van modellen/alternatieven geselecteerd [3]. Op basis van de eerste resultaten van de uitgevoerde milieu-effectberekeningen zijn daar nog twee varianten van een vierde alternatief aan toegevoegd [4]. De modellen/alternatieven zijn:

1. “grens”, overeenkomend met de “open bak” situatie waarbij Oude Rijn, Hoofdstraat en Ericaleaan de verbinding tussen de oost- en westzijde van de A4 vormen
2. “corridor”, overeenkomend met een deels-open-deels-overdekte situatie; aangeduid met “dodo”
3. “weefsel”, overeenkomend met een “tunnel”
- 4a. “zone”/“grens”, overeenkomend met een “luifel”
- 4b. idem als 4a, aangevuld met een geluidscherm in de middenberm; aangeduid met “luifel-plus”
5. idem als 1, 2, 4a en 4b, aangevuld met een horizontaal geplaatst geluidscherm; aangeduid met “schermenrooster”.

Alternatief 4b is alleen doorerekend voor het deelaspect geluidhinder.

Voor alternatief 5 is er een kwalitatief onderzoek uitgevoerd naar de gevolgen op de deelaspecten geluidhinder en explosieveiligheid.

In de navolgende paragrafen 2.1.1 t/m 2.1.5 worden de uitgangspunten voor elk van de door te rekenen alternatieven (tevens aangeduid met de modelnaam van Bureau Zandvoort) beschreven.

2.1.1 Alternatief 1: “open bak”, referentie-situatie (modelnaam: “grens”)

De referentie-situatie bestaat uit een open bak met rechte wanden aan beide zijden van de bak, zonder aanvullende geluidwerende voorzieningen. De oost- en westzijde van de bak zijn verbonden door een aquaduct (Oude Rijn) en twee viaducten of bruggen (Hoofdstraat en Ericalaan).

De volgende uitgangspunten worden voor alternatief 1 gehanteerd:

- de lengte van de bak bedraagt ca. 1090 meter
- de bak is verdiept aangelegd, de hoogte van de bak varieert van ca. 4 tot ca. 10 meter
- voor de berekening van de milieu-effecten wordt de betreffende wegvak opgedeeld in een aantal stukken (verschillend per milieu-aspect)
- in de bak zijn vluchtmogelijkheden aanwezig in de vorm van trappen, één ter hoogte van de Hoofdstraat en één ter hoogte van de Ericalaan (onderlinge afstand ca. 400 meter)
- de bak bestaat uit twee rijbanen
- één rijbaan bestaat uit 4 rijstroken en een vluchtstrook, waarbij voor deze studie wordt aangenomen dat drie rijstroken worden gebruikt
- de reserve, vierde (meest linkse) rijstrook is niet fysiek gescheiden van de overige rijstroken en is te gebruiken voor de inzet van hulpverleningsorganisaties
- de totale breedte van een rijbaan (inclusief vluchtstrook en reservestrook) bedraagt 22 meter
- tussen beide rijbanen is een “drempel” aanwezig met een breedte van ca. 3 meter en een hoogte van ca. 0,80 meter
- de totale breedte van het betreffende traject van de rijksweg A4 bedraagt derhalve ca. 47 meter
- voor de afvoer van hemelwater (en eventueel vrijgekomen gevaarlijke stoffen) is een riolering geïnstalleerd met een capaciteit die vergelijkbaar is met een riolering in tunnels.

2.1.2 Alternatief 2: “dodo”(modelnaam: “corridor”)

Dit deels-open-deels-overdekt alternatief bestaat uit een open bak, waarvan een gedeelte is uitgevoerd met een gesloten dakconstructie. De vier overdekte gedeelten hebben elk een lengte van 80 meter en zijn gelijkelijk verdeeld over het traject tussen de Oude Rijn en de Ericalaan. De lengte van de drie openingen tussen de overdekte gedeelten bedraagt steeds ca. 55 meter. De uitvoering van deze open gedeelten plus dat van het overige deel van het traject is gelijk aan dat van alternatief 1: “open bak”.

Ten opzichte van de uitgangspunten van alternatief 1 gelden de volgende aanvullingen:

- de afstand tussen het begin van het eerste gesloten gedeelte en het eind van het vierde gesloten gedeelte bedraagt ca. 460 meter
- de hoogte van het overdekte gedeelte ter plaatse van de Oude Rijn is 4.50 meter en ter plaatse van de overige overdekte gedeelten ca. 8 meter
- in de overdekte gedeelten van de overkapping is een scheidingswand aanwezig tussen de twee rijbanen
- in de overdekte gedeelten wordt *geen* geforceerde ventilatie toegepast
- voor de shadeberekeningen (deelaspect veiligheid) wordt het traject opgedeeld in vier stukken (gerekend van noord naar zuid):
 - de inrit, lengte ca. 250 meter en een gemiddelde diepte van de bak van 3 meter
 - vanaf de inrit tot aan het aquaduct onder de Oude Rijn, lengte 180 meter en een gemiddelde diepte van de bak van 7,5 meter
 - het gedeelte vanaf de Oude Rijn tot aan de Ericalaan, lengte ca. 460 meter
 - de uitrit vanaf de Ericalaan, lengte 200 meter
- er zijn ten opzichte van alternatief 1 *geen* extra vluchtmogelijkheden aanwezig.

2.1.3 Alternatief 3: “tunnel” (modelnaam “weefsel”)

Dit alternatief bestaat uit een tunnel tussen de Oude Rijn en de Ericalaan. Boven de tunnel wordt groenvoorziening en mogelijk bebouwing aangebracht. De uitvoering van het overige deel van het traject is gelijk aan dat van alternatief 1: “open bak=.

Ten opzichte van de uitgangspunten van alternatief 1 gelden de volgende aanvullingen:

- de lengte van de tunnel bedraagt ca. 460 m (excl. inrit en uitrit)
- de hoogte van de tunnel bedraagt 4,80 m
- de uitrusting van de tunnel is vergelijkbaar met die van de bestaande tunnels en wordt uitgevoerd conform de WUT-richtlijn, zoals:
 - scheidingskanaal tussen de rijbanen, per rijbaan één tunnelbuis/-kanaal
 - toepassing van pompkelders
 - geforceerde ventilatie (geregeld door CO-concentratie, dat wil zeggen tijdens files en calamiteiten)
 - vluchtmogelijkheden (vluchtgang en een toegangsdeuren)
 - brandwerendheid (plafond en deel van de wanden)
 - aanwezigheid van hulpposten en intercom

- voor de schadeberekeningen wordt het traject opgedeeld in vier stukken (gerekend van noord naar zuid):
 - de inrit over een lengte van ca. 250 meter. Voor dit gedeelte wordt een gemiddelde diepte van de bak gehanteerd van 3 meter
 - vanaf de inrit tot aan de Oude Rijn, lengte 180 meter met een gemiddelde diepte van de bak van 7,5 meter
 - de tunnel vanaf de Oude Rijn tot aan de Ericalaan, lengte ca. 460 meter
 - de uitrit vanaf de Ericalaan, lengte 200 meter
- in de tunnel zijn vluchtmogelijkheden aanwezig in de vorm van vluchtdeuren, met een onderlinge afstand van 100 meter, die uitkomen op een vluchtgang in het middenkanaal van de tunnel.

2.1.4 Alternatief 4: “luifel” (modelnaam “zone”/“grens”)

Dit alternatief is vergelijkbaar met alternatief 1: “open bak”. Het gedeelte tussen de Oude Rijn en de Ericalaan wordt echter aan beide zijden van de weg uitgevoerd met een luifel. Deze bestaat uit een constructie die vanaf de rand van de bak in een hoek van 20° over de vluchtstrook en de meest rechtse rijstrook steekt. De breedte van deze stroken bedraagt ca. 7 meter. De bovenkant van deze luifel kan gebruikt worden als tuin (zwevende tuin, zie ook onderzoek Bureau Zandvoort).

Voor alternatief 4 is nog een aanvullende variant, “luifel-plus” doorgerekend op het deelaspect geluid. In deze variant is naast de luifel nog een geluidscherm in de middenberm geplaatst. De hoogte van dit geluidscherm varieert: in de ondiepe gedeelten van de open bak loopt de bovenkant van het scherm tot aan maaiveld, in het diepere gedeelte is de hoogte 5 meter.

2.1.5 Alternatief 5: ‘schermenrooster’

Dit alternatief is te beschouwen als een variant op de vorige alternatieven, met uitzondering van alternatief 3: “tunnel”. De open gedeelten van de alternatieven 1, 2 en 4 worden uitgevoerd met een soort open dak: een horizontaal schermenrooster, bestaande uit 2 meter hoge, geluidabsorberende roosters met vakken van 1x1 meter.

Voor dit alternatief is alleen een kwalitatief onderzoek uitgevoerd naar de gevolgen op de deelaspecten geluid en explosieveiligheid.

2.2 Uitgangspunten voor de studie

Voor het betreffende traject van de A4 worden de volgende uitgangspunten voor elk van de berekeningen gehanteerd, zie ook [4] en [5]:

- het referentiejaar is 2010

- de geprognoseerde verkeersintensiteit bedraagt 120.397 motorvoertuigen per etmaal, gelijkelijk verdeeld over de west- en de oostzijde van de rijbaan
- de verkeersintensiteit is als volgt verdeeld over de personenwagens, licht vrachtverkeer en zwaar vrachtverkeer: ca. 88%, 6% respectievelijk 6% (er is uitgegaan van 15104 vrachtwagens per etmaal, wat overeenkomt met ca. 12% van de totale verkeersintensiteit)
- de verdeling van de verkeersintensiteit over de (werk)dag is conform de gegevens die RWS-ZH op 31 oktober 1996 heeft aangeleverd
- de voertuigdichtheid bij filevorming bedraagt 38,4 voertuigen per 100 meter, gebaseerd op 3 rijstroken
- met betrekking tot file-vorming wordt uitgegaan van de doelstelling van de SVV-II, dat wil zeggen een congestie van 2%
- het aandeel transport gevaarlijke stoffen neemt evenredig toe met de toename van het zwaar verkeer (van 8100/etmaal naar 15104/etmaal in 2010) en bedraagt ca. 39760 voertuigen per jaar (in 1993: 21375/jaar), waarvan:
 - 1,3% toxische gassen (517 vtg.jr⁻¹)
 - 2,5% toxische vloeistoffen (994 vtg.jr⁻¹)
 - 76% brandbare vloeistoffen (30.218 vtg.jr⁻¹)
 - 20% brandbare gassen (7.952 vtg.jr⁻¹)
- de maximale snelheid voor personenwagens is 100 km/uur, en voor vrachtwagens 80 km/uur
- de gemiddelde voertuigbezetting bedraagt 1,66 personen, gebaseerd op:
 - bezetting vrachtwagens: 1 persoon (aandeel 10%)
 - bezetting autobussen: 22 personen (aandeel 1%)
 - bezetting personenwagens: 1,5 personen (aandeel 89%)
- naast de overkapping en/of tunnel zijn geen extra geluidreducerende voorzieningen voorzien
- de volgende cijfers zijn aangehouden voor de bewonersdichtheid (exacte cijfers zijn niet bekend): 2.42 bewoners per woning, 15-20 woningen per ha voor de eerste 100 m vanaf de grens van de rijksweg en 30-40 woningen per ha voor de overige afstanden

2.3 Projectdocumenten

1. N.A. van der Mark
Offerte-aanvraag ten tehoeve van het onderzoek naar mogelijke dakconstructies boven een verdiepte ligging van rijksweg 4 in Leiderdorp (overeenkomst ZHV 6692)
Rijkswaterstaat directie Zuid-Holland, Rotterdam, 4 september 1996
2. Onderzoek overkapping/verdiepte ligging A4 Leiderdorp
Zandvoort Ordening & Advies, Utrecht, december 1996

3. F.J. Verheij
Startnotitie Milieu- en veiligheidseffecten verdiepte ligging A4 bij Leiderdorp
- definitieve versie
TNO, bijlage bij brief 16401/112330-27606, Apeldoorn, 6 november 1996
4. F.J. Verheij Tussenrapportage Milieu- en veiligheidseffecten verdiepte ligging A4 bij Leiderdorp
TNO, bijlage bij brief 16401/112330-27606, Apeldoorn, 17 december 1996
5. J.J. van Ettinger Diverse gegevens zoals coördinaten van het deeltraject van de A4 bij Leiderdorp
Rijkswaterstaat directie Zuid Holland, Rotterdam, 25 november 1996
6. MER/Trajectnota A4 Burgeveen-Leiden Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland
DHV Milieu en Infrastructuur BV, dossier K1065 22.002, oktober 1996

3. Deelaspect geluidhinder

3.1 Geluidbelastingen

Het onderzoek op het aspect van de geluidhinder richt zich op de vergelijking tussen de geluidbelastingen van rijksweg A4, zoals die bij verschillende inpassingsvarianten zullen optreden in het gebied tussen de Hoofdstraat en de Ericalaan/Mauritssingel te Leiderdorp. Daarbij gaat het om vergelijking tussen de optredende 'etmaalwaarde', de maat die de Wet geluidhinder hanteert om de geluidbelasting van wegverkeer voor de omgeving te kwantificeren.

Voor het bepalen van de etmaalwaarde op een gegeven locatie langs een weg worden twee gemiddelde geluidniveaus (A-gewogen equivalente geluidniveaus, L_{Aeq}) bepaald over twee perioden gedurende een etmaal: de dagperiode van 7.00 uur tot 19.00 uur en de nachtperiode van 23.00 uur tot 7.00 uur. De etmaalwaarde is dan gelijk aan de hoogste van de volgende twee waarden:

- L_{Aeq} in de dagperiode
- L_{Aeq} in de nachtperiode + 10 dB(A).

Bij autosnelwegen is het aanbod van het verkeer gedurende de nacht meestal zodanig groot, dat de laatste van bovenstaande niveaus bepalend is voor de etmaalwaarde.

3.2 Rekenmodel

Het onderzoek naar de optredende geluidbelasting berust op berekeningen aan de hand van modelleringen van de huidige en de mogelijke toekomstige situaties. In de modellen is rijksweg A4 de geluidbron, die voor de berekeningen in een aantal deelbronnen wordt opgedeeld. Elke deelbron is een lijnstuk, waarvan er in het algemeen een aantal evenwijdig naast elkaar liggen, zoals getekend in figuur 3.1. Een aaneenschakeling van lijnstukken in de lengterichting van de weg wordt een rijlijn genoemd en representeert één of meer rijstroken. De onderverdeling van rijlijnen in lijnstukken in de richting parallel met de weg wordt zo gekozen dat het dwarsprofiel van de weg langs een lijnstuk niet verandert.



Figuur 3.1 Onderverdeling van de weg in geluidbronnen.

De bijdrage van een als geluidbron te beschouwen lijnstuk tot het geluidniveau (L_p) in een waarneempunt hangt af van de sterkte van de bron en van de overdrachtsweg tussen bron en waarneempunt. In grote lijnen doorloopt het rekenproces de volgende stappen.

1. Bepalen van de bronsterkte van het verkeer per rijlijn in verschillende frequentiebanden (octaafbanden met middenfrequenties van 63 t/m 8000 Hz).
2. Berekenen van de verzwakking van het geluid wanneer het de afstand aflegt van de plaats van de geluidbron (deel van een rijlijn) naar het waarneempunt. Deze overdrachtsverzwakking wordt voor alle frequentiebanden en voor iedere combinatie van waarneempunt en deelbron afzonderlijk vastgesteld.
3. Sommatie van de bijdragen van rijlijnen. In iedere frequentieband is het geluidniveau het verschil tussen de bronsterkte en de overdrachtsverzwakking. Per frequentieband en per waarneempunt wordt de energetische som bepaald van de bijdragen van de verschillende rijlijnen tussen een vast begin- en eindpunt. Het resultaat is een frequentiespectrum van het geluidniveau in een waarneempunt, afkomstig van het tussen de twee punten gelegen deel van de weg.
4. Bepalen van het totale geluidniveau in dB(A). Voor ieder waarneempunt worden per frequentieband de bijdragen van verschillende delen van de weg energetisch gesommeerd. Het totale geluidniveau in dB(A) volgt per waarneempunt uit de energetische som van de A-gewogen waarden per frequentieband.

De bronsterkte van het verkeer over de A4 is berekend volgens de procedure van Standaard-Rekenmethode 2 uit het Reken- en Meetvoorschrift Verkeerslawaaï [1]. Het voorschrift gaat uit van vier verschillende categorieën motorvoertuigen en definieert voor elke categorie de bronsterkte, afhankelijk van de gemiddelde rijsnelheden en de aantallen passerende voertuigen per categorie. Voor het type wegdek geeft een 'wegdekcorrectie' het verschil in bronsterkte ten opzichte van een referentie-wegdek van dicht asfaltbeton (DAB). De wegdekcorrectie is afhankelijk van de voertuigcategorie en kan ook afhankelijk zijn van de rijsnelheid.

Voor de tweede stap in de berekening is van het bovengenoemde voorschrift afgeweken. Het onderzoek is voor een belangrijk deel gebaseerd op het rekenmodel TOMAS (Theoretisch Overdrachtsmodel Aarden wallen en Schermen), dat vanaf 1983 binnen TNO-TPD ontwikkeld werd voor het berekenen van de geluidoverdracht over een niet-homogene bodem bij een groot aantal verschillende vormen van afschermingen [2]. Sindsdien wordt TOMAS voor het geluid van wegverkeer vooral gebruikt in situaties die vanwege bijzondere schermvormen buiten het toepassingsbereik vallen van de Standaard Rekenmethoden volgens het voorschrift [1].

TOMAS deelt de overdracht van de geluidbron naar een waarneempunt op in een aantal mogelijke geluidpaden (stralen), die ontstaan uit directe geluidoverdracht, geluidreflecties tegen bodem of obstakels en diffractie (buiging) aan schermranden. Bij het sommeren van de bijdragen van de verschillende stralen houdt het model rekening met de fasen van de golffronten die het waarneempunt bereiken. Een geluidbron in de vorm van een lijnstuk (lijnbron) wordt in het overdrachtsmodel geschematiseerd door een rij puntbronnen langs het lijnstuk. De hoek tussen de lijnen van een waarneempunt en twee naastgelegen puntbronnen blijft daarbij constant, zodat de afstand tussen de naast elkaar gelegen puntbronnen toeneemt met de afstand tot het waarneempunt. Het geluidvermogen van de puntbron wordt aangepast aan de lengte van het stukje lijn dat de puntbron representeert.

Bij overkapte delen van een weg kan het geluid dat door de constructie heen dringt of via openingen naar buiten komt nog een bijdrage leveren tot het geluidniveau in een waarneempunt. De in- en uitgang of het dak van de overkapping kunnen dan als secundaire geluidbronnen worden beschouwd, waarvan de bronsterkte volgt uit het geluidveld binnen de overkapping en de geluidisolatie van de constructie. De rekenmethode hiervoor wordt in bijlage A toegelicht. De geluidoverdracht van de secundaire bronnen naar het waarneempunt is met TOMAS berekend.

Bij luifels aan weerszijden van een weg, al of niet in combinatie met een geluidscherm in de middenberm, is het aantal mogelijke geluidpaden in het overdrachtsmodel door meervoudige reflecties in principe onbeperkt. Met TOMAS zijn de geluidstralen die meer dan twee reflecties tegen afschermingen ondergaan niet meer afzonderlijk berekend. De totale bijdrage van deze stralen is ingeschat door berekening van het geluidveld binnen de luifels, dat alleen door reflecties hoger dan de 2e orde ontstaat (bijlage A). De invloed hiervan op het totale geluidniveau blijkt bij absorberend uitgevoerde vlakken (paragraaf 3.3.4) van de onderzochte vormen van luifels op 50 m afstand van de weg minder dan 1 dB(A) te zijn.

3.3 Aanvullende uitgangspunten

3.3.1 Verkeersgegevens

De verdeling van het verkeersaanbod op de A4 over de dag- en de nachtperiode is zodanig, dat de nachtperiode bepalend is voor de etmaalwaarde van de geluidbelasting. Alle berekeningen zijn daarom uitgevoerd met de verkeersgegevens voor de nachtperiode, die zijn overgenomen uit de MER/Trajectnota A4 Burgerveen-Leiden van 1996 [3].

Voor het tracé tussen Hoogmade en de kruising met de N11 is uitgegaan van een gemiddelde uurintensiteit in de nachtperiode van 1,4% van de etmaalintensiteit. Bij 120.397 motorvoertuigen per etmaal (zie paragraaf 2.2) betekent dit dat gemiddeld over de nachtperiode 1686 motorvoertuigen per uur passeren (totaal in beide richtingen). De verdeling van dit aantal over de verschillende voertuigcategorieën is voor de nachtperiode gegeven in tabel 3.1 en wijkt iets af van de gemiddelde etmaalverdeling in paragraaf 2.2. De aantallen motorvoertuigen zijn voor alle categorieën gelijk verdeeld over de beide rijrichtingen. Motorrijwielen zijn buiten beschouwing gelaten.

Voor personenauto's (lichte motorvoertuigen, categorie 1) is een snelheid aangehouden van 100 km/h; vrachtwagens (categorie 3 en 4) rijden met een snelheid van 80 km/h.

Tabel 3.1 Verkeersintensiteiten en rijsnelheden van motorvoertuigen op de A4 gedurende de nachtperiode tussen Hoogmade en de kruising met rijksweg N11. De aantallen per uur zijn gemiddelden per rijrichting.

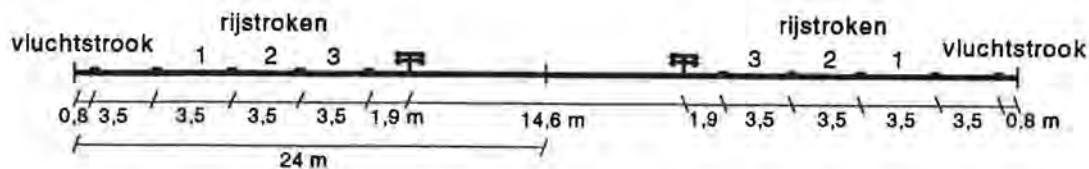
	cat. 2 lichte motor- voertuigen	cat. 3 middelzware motorvoertuigen	cat. 4 zware motorvoer- tuigen
aantal per uur	704	67	73
percentage	83,4%	8,0%	8,6%
snelheid [km/h]	100	80	80

3.3.2 Wegbreedte, rijstroken en rijlijnen

De berekeningen gaan uit van het dwarsprofiel van de A4 in het jaar 2010, bestaande uit 2 rijbanen van elk 3 rijstroken en twee vluchtstroken. Voor een vierde rijstrook is in beide rijbanen ruimte gereserveerd. De drie rijstroken zijn met twee rijlijnen gemodelleerd, waarvan er één samenvalt met de meest rechtse rijstrook en de ander de twee daarnaast gelegen rijstroken representeert.

Voor de nachtperiode is aangenomen dat alle vrachtwagens uitsluitend op de meest rechtse rijstrook rijden en dus in slechts één van de twee rijlijnen per rijrichting vertegenwoordigd zijn. De verdeling van personenauto's over de rijlijnen verhoudt zich als 1:1.

De weg is 47 m breed, inclusief een middenberm van 3 m. De afstand tussen het midden van de meest rechtste rijstrook en de verticale wand van de bak of overkapping bedraagt 4,25 m. In figuur 3.2 is de indeling van de weg getekend.



Figuur 3.2 Dwarsdoorsnede van de A4

3.3.3 Wegdek

In het onderzoek komen twee wegdektypen aan de orde, DAB (dicht asfaltbeton, alleen voor de huidige situatie), ZOAB (zeer open asfaltbeton) en dubbellaags ZOAB. Beide typen ZOAB zijn stiller dan het standaard DAB volgens het Reken-

en Meetvoorschrift, zoals blijkt uit de voor dit onderzoek aangehouden 'wegdekcorrecties' (verschillen t.o.v. DAB) van tabel 3.2.

Voor ZOAB is uitgegaan van een wegdekcorrectie volgens het Meerjaren Uitvoeringsprogramma Geluidhinderbestrijding 1987-1991 (MUG 1987)¹. Volgens MUG 1987 heeft ZOAB geen enkel effect voor zwaar vrachtverkeer (categorie 4).

De wegdekcorrectie voor dubbellaags ZOAB is afgeleid uit metingen die M+P Raadgevende Ingenieurs BV hebben uitgevoerd langs rijksweg A17 [4]. In de A17 ter hoogte van afslag Bochwerf ligt momenteel een proefvak met een wegdek dat uit twee lagen ZOAB is opgebouwd² en stiller is dan normaal ZOAB. De waarden in tabel 3.2 zijn niet in deze vorm gepubliceerd en gelden onder voorbehoud. In de loop van 1997 zullen resultaten beschikbaar komen die op een groter aantal metingen gebaseerd zijn.

Tabel 3.2 Geluidemissie in dB per octaafband van verschillende voertuigcategorieën op verschillende wegdektypen, ten opzichte van de geluidemissie op dicht asfaltbeton (DAB).

wegdek	voertuig categorie ^{*)}	snelheid [km/h]	octaafband-middenfrequentie [Hz]							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ZOAB	2	> 70	0,0	0,0	0,0	0,0	-6,0	-4,0	-4,0	-2,0
	3	> 70	0,0	0,0	0,0	-1,0	-6,0	-4,0	-4,0	-2,0
	4		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
dubbellaags ZOAB ^{**)}	2	100	0,0	-1,6	-1,1	-2,7	-5,0	-6,2	-5,8	-2,9
	3	80	0,0	-3,8	-3,2	-3,8	-5,7	-4,6	-5,2	-3,3
	4	80	0,0	+0,5	-0,3	-6,9	-5,4	-4,6	-5,0	-3,8

^{*)} 2 = lichte motorvoertuigen
3 = middelzware motorvoertuigen
4 = zware motorvoertuigen

^{**)} Onder voorbehoud. De waarden zijn afgeleid uit metingen van M+P Raadgevende ingenieurs B.V. [4], maar niet in deze vorm gepubliceerd.

3.3.4 Geluidabsorptie en geluidisolatie

In het overdrachtsmodel is verondersteld dat van overkappingen, schermen en luifels alle naar de weg toe gekeerde vlakken worden uitgevoerd met een hoogwaar-

¹ De wegdekcorrectie voor ZOAB volgens MUG 1987 verschilt van het later verschenen "Concept Reken- en Meetvoorschrift Verkeerslawaaï 1990". Voor personenauto's en vrachtwagens bij respectievelijk 100 km/h en 80 km/h is ZOAB volgens de laatst genoemde publicatie significant stiller. Het concept-voorschrift geeft voor categorieën 3 en 4 (middelzware en zware vrachtwagens) dezelfde correctie. Hierbij moet worden opgemerkt dat de correctie gebaseerd is op metingen aan een type ZOAB waarvan de gradatie van het toeslagmateriaal 8/11 bedraagt en daarmee afwijkt van het op dit moment veel toegepaste ZOAB met een gradatie 6/16.

² De gradaties van de bovenste en de onderste laag zijn respectievelijk 4/8 en 11/16.

dige geluidabsorberende bekleding met een dikte van 140 mm en een stromingsweerstand van 5000 Ns/m⁴. Deze waarden leveren een geluidabsorptie-coëfficiënt volgens tabel 3.3 en een reflectieverzwakking van ongeveer 10 dB(A) (uitgaande van een frequentiespectrum voor wegverkeer).

De akoestische eigenschappen van het wegdek zijn gemodelleerd volgens het “starre skelet model” van Zwicker en Kosten [5], waarbij de waarden voor de stromingsweerstand, laagdikte, porositeit en structuurfactor zijn afgestemd op in de praktijk gemeten absorptiecurven [6] (zie tabel 3.3).

Tabel 3.3 Geluidabsorptie-coëfficiënten van:

- a) naar de weg toegekeerde vlakken van overkappingen, schermen en luifels
- b) het wegdek (ZOAB en dubbellaags ZOAB).

Oppervlak	octaafband-middenfrequentie [Hz]							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
binnenzijde van overkappingen en luifels	0,20	0,46	0,76	0,96	0,99	0,99	0,99	0,99
wegdek	0,05	0,05	0,10	0,20	0,50	0,30	0,30	0,20

Voor de overkappingen en luifels is uitgegaan van een zware constructie met een zodanig hoge geluidisolatie, dat de bijdrage van geluid dat door de constructie heen dringt te verwaarlozen is ten opzichte van het geluid dat via openingen de waarneempunten bereikt.

3.3.5 Waarneempunten

Voor de berekeningen zijn waarneempunten gekozen op afstanden van 50, 75 en 100 m uit de wegas. Tussen de weg en het waarneempunt is een bodem gemodelleerd die bestaat uit grasland zonder obstakels. Dit betekent dat de rekenuitskomsten (en geluidcontouren) betrekking hebben op naar de weg toegekeerde gevels van gebouwen ter plaatse van de gekozen waarneempunten, wanneer tussen de gevels en de weg geen andere bebouwing aanwezig is, dan de obstakels die direct langs de weg als afscherming zijn bedoeld.

Voor alle waarneempunten zijn berekeningen uitgevoerd voor een hoogte van 5 m ten opzichte van het maaiveld, die maatgevend is voor de 2e bouwlaag. De hoogte van het maaiveld ten opzichte van NAP is ter plaatse van alle waarneempunten gelijk. Voor de berekeningen is deze absolute hoogte niet van belang, maar gaat het om de hoogte van het maaiveld bij het waarneempunt ten opzichte van de hoogten van de geluidbronnen op de verschillende delen van het wegtracé. Deze relatieve hoogten zijn in de richting parallel met de weg niet constant, omdat de wegdekhoogte langs het tracé bij de gekozen inpassingsvarianten varieert.

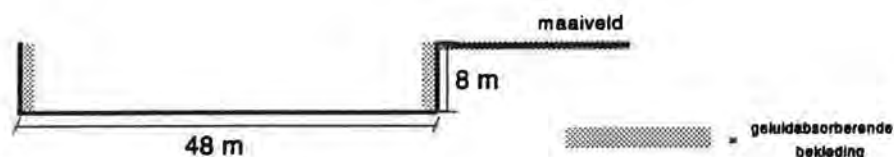
3.3.6 Dwarsprofielen

De alternatieven voor de verdiepte ligging van de A4 te Leiderdorp zijn in paragraaf 2.1 beschreven. Figuur 3.3 geeft de dwarsprofielen van de huidige situatie en van de alternatieven “bak”, “dodo”, “luifel” en “luifel + scherm”, zoals voor de geluidberekeningen zijn gemodelleerd. Langs het tracé tussen de kruising met de Oude Rijn en de Ericalaan kan de hoogte van het wegdek ten opzichte van het maaiveld in de dwarsprofielen variëren. De tekeningen in figuur 3.3 gelden halverwege het bovengenoemde wegtracé.

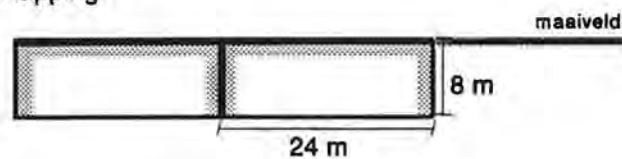
huidige situatie



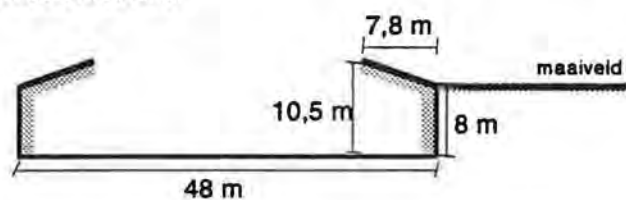
open bak



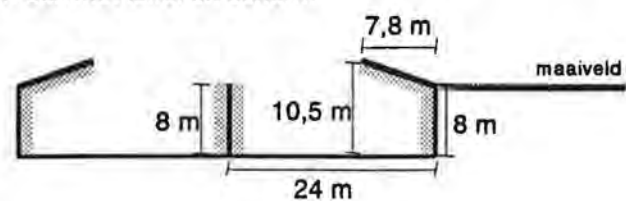
overkapping



open bak met luifel



open bak met luifel en scherm



Figuur 3.3 Dwarsprofielen van de A4 in de huidige situatie en in de toekomstige situatie voor verschillende alternatieven met verdiepte ligging

3.4 Resultaten van de berekeningen

Alle berekeningsresultaten zijn uitgedrukt in etmaalwaarden, gebaseerd op de nachtperiode, waarin een aftrek van 3 dB(A) volgens artikel 103 van de Wet geluidhinder is verdisconteerd¹. Aangezien de dwarsprofielen van figuur 3.3 symmetrisch zijn ten opzichte van de wegas en de verkeersintensiteiten op beide rijbanen gelijk zijn verondersteld, gelden de berekende etmaalwaarden aan beide zijden van de weg.

De tabellen 3.4 en 3.5 geven voor hoogten van respectievelijk 5,0 m en 10,0 m ten opzichte van het maaiveld de berekende etmaalwaarden van de geluidbelasting, als gevolg van het verkeer op het deel van de A4 tussen de kruisingen met de Oude Rijn en de Eriicalaan/Mauritssingel. In de dwarsprofielen van figuur 3.3 zijn de waarneempunten op 50 m, 75 m en 100 m afstand van de wegas aangegeven. De punten liggen halverwege tussen de Oude Rijn en de Eriicalaan/Mauritssingel. Het is belangrijk hier op te merken dat ook de delen van de A4 ten zuiden en ten noorden van bovengenoemd wegvak nog significante bijdragen tot de geluidbelasting in de waarneempunten kunnen leveren, die niet in de uitkomsten van de tabellen 3.4 en 3.5 zijn meegenomen. Deze bijdragen zullen belangrijker worden naarmate de afstand tot de weg toeneemt en naarmate het wegvak tussen de Oude Rijn en de Eriicalaan beter wordt afgeschermd.

De bijdragen tot de geluidbelasting van de delen van de A4 ten zuiden van de Oude Rijn en ten noorden van de Eriicalaan zijn geschat middels berekeningen volgens Standaard Rekenmethode 2 van het Reken- en Meetvoorschrift Verkeerslawaaï [1] en verdisconteerd in de geluidcontouren van 55 dB(A) en 60 dB(A), die in de figuren 3.4 t/m 3.7 zijn geschetst voor de varianten “bak”, “dodo”, “luifel” en “tunnel” voor een hoogte van 5 m boven het maaiveld. We zien in de figuren dat de verschillen tussen de varianten op korte afstand van de weg duidelijk aanwezig zijn, maar op grotere afstand vervagen. De vergelijking tussen bijvoorbeeld de “dodo”-oplossing en de bak met luifels toont een groot verschil in de ligging van de 60 dB(A)-contour, terwijl de 55 dB(A)-contouren niet ver van elkaar liggen.

Op een afstand van 100 m van de wegas worden de bijdragen van de delen van de A4 ten zuiden van de Oude Rijn en ten noorden van de Eriicalaan belangrijk, zodra de bijdrage tot de etmaalwaarde van het verdiept gelegen wegvak daartussen ongeveer 53 dB(A) bedraagt. Dit betekent dat maatregelen om de geluidbelasting van het verdiept gelegen deel nog verder terug te dringen weinig effectief zullen zijn, tenzij deze gecombineerd worden met geluidschermen langs de andere delen van de A4.

¹ De etmaalwaarde is gelijk aan het equivalente geluidniveau gedurende de nachtperiode, vermeerderd met 10 dB(A), aangezien deze som hoger is dan het equivalente geluidniveau van de dagperiode. Voor toetsing aan de wettelijke normen wordt van de etmaalwaarde eerst 3 dB(A) afgetrokken.

Tabel 3.4 *Etmaalwaarden van de geluidbelasting (incl. 3 dB(A) aftrek volgens artikel 103) voor de waarneempunten langs rijksweg A4 van figuur 3.3. De reken-uitkomsten gelden voor beide zijden van de weg. De berekende geluidbelastingen zijn exclusief de bijdragen van het verkeer op de A4 ten zuiden van de Oude Rijn en ten noorden van de Ericalaan.
 Waarneemhoogte: 5,0 m t.o.v. het maaiveld.*

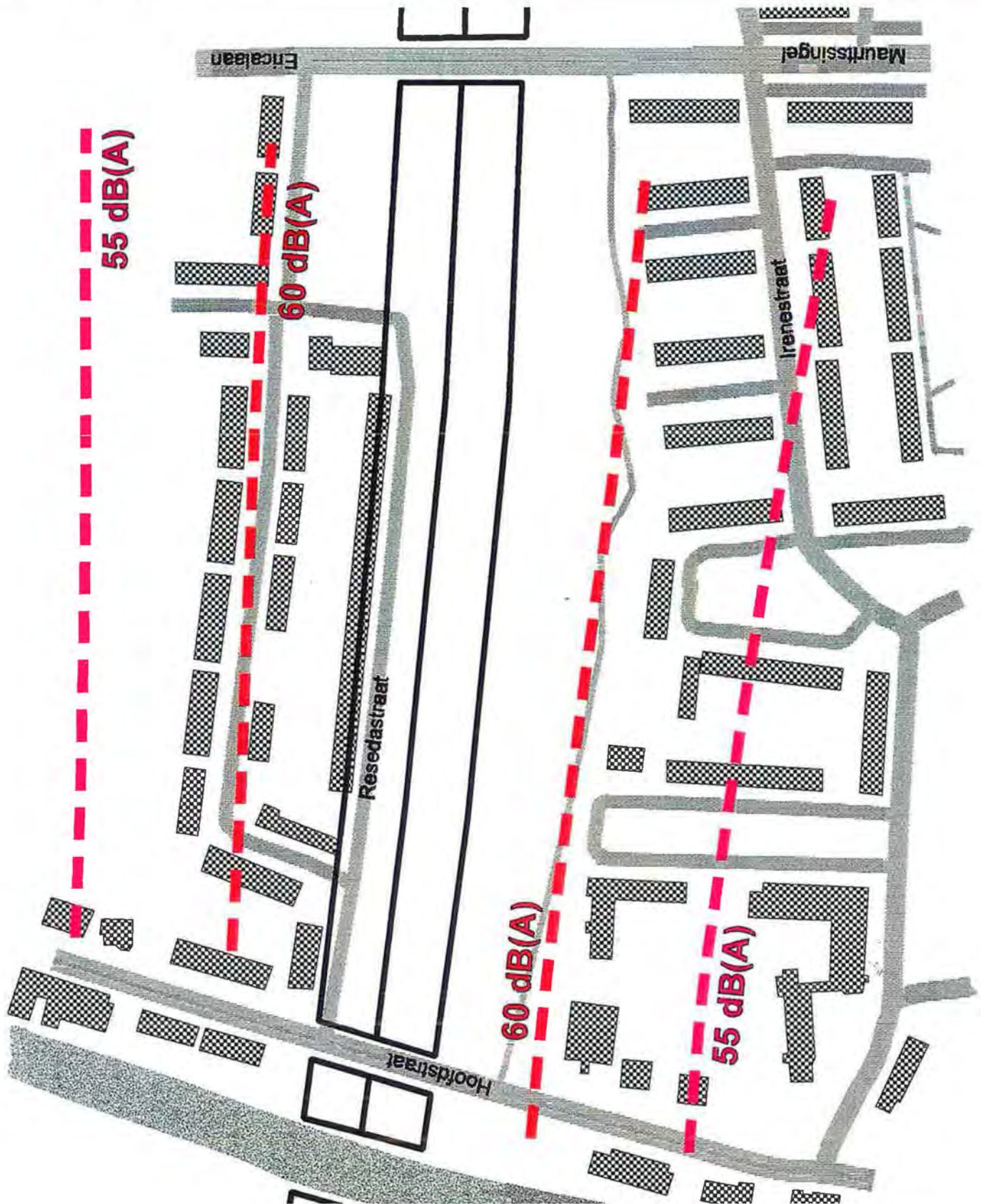
alternatief	afstand 50 m			afstand 75 m			afstand 100 m		
	DAB	ZOAB	2x ZOAB	DAB	ZOAB	2x ZOAB	DAB	ZOAB	2x ZOAB
huidige situatie ¹⁾	-	63	-	-	61	-	-	59	-
bak	66	64	62	60	58	57	56	55	54
dodo	62-63	60-62	58-59	56	54-55	53	53	52	50
luifel	56	55	53	53	53	51	51	50	49
luifel + scherm	56	55	53	53	52	50	51	50	48

1) Weg op 5 m boven maaiveld, reflecterende geluidschermen van 3 m hoog aan weerszijden, verkeersintensiteiten volgens prognose voor het jaar 2010.

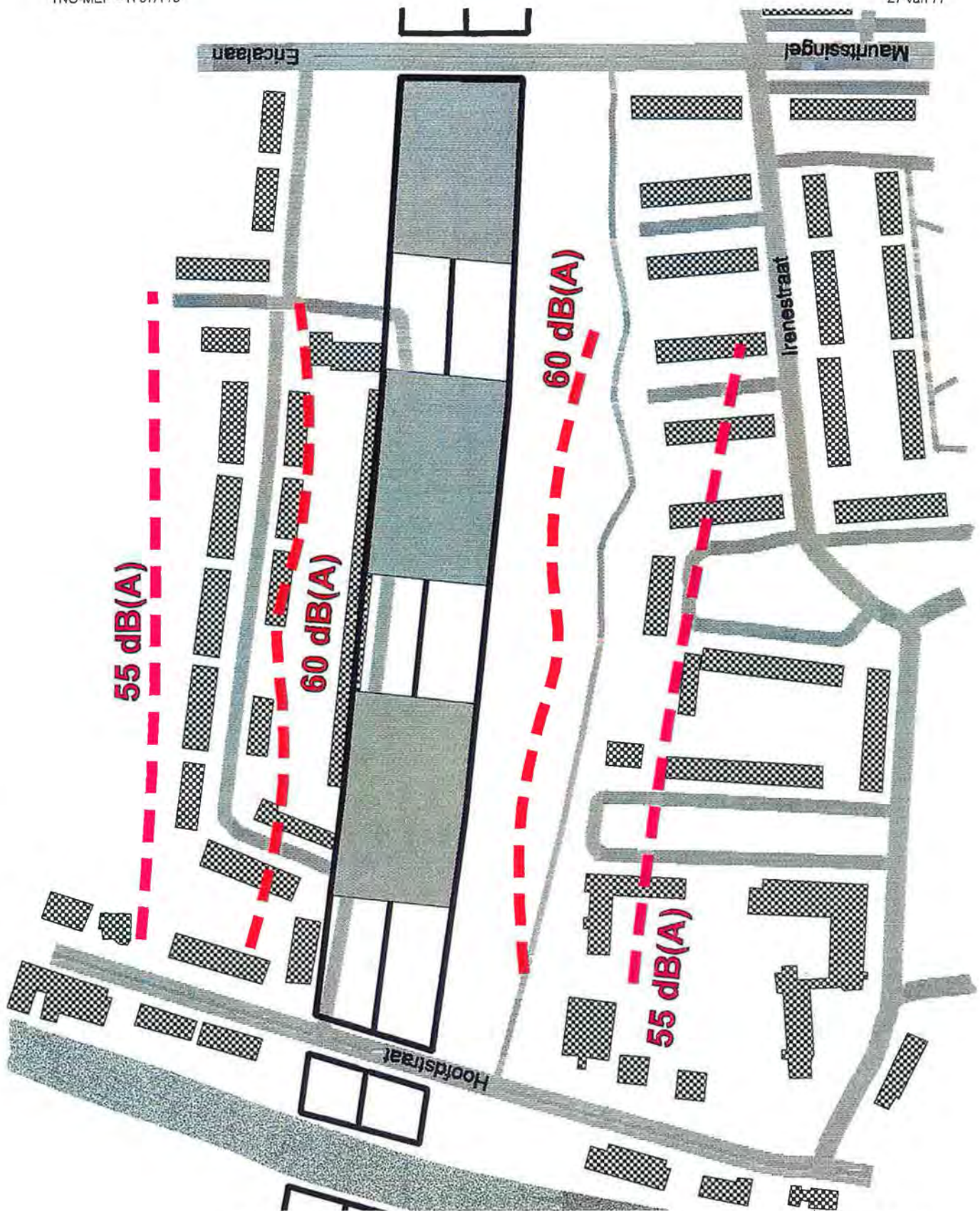
Tabel 3.5 *Etmaalwaarden van de geluidbelasting (incl. 3 dB(A) aftrek volgens artikel 103) voor de waarneempunten langs rijksweg A4 van figuur 3.3. De reken-uitkomsten gelden voor beide zijden van de weg. De berekende geluidbelastingen zijn exclusief de bijdragen van het verkeer op de A4 ten zuiden van de Oude Rijn en ten noorden van de Ericalaan.
 Waarneemhoogte: 10,0 m t.o.v. het maaiveld.*

alternatief	afstand 50 m			afstand 75 m			afstand 100 m		
	DAB	ZOAB	2x ZOAB	DAB	ZOAB	2x ZOAB	DAB	ZOAB	2x ZOAB
huidige situatie	-	68	-	-	65	-	-	63	-
bak	71	69	67	64	62	60	59	58	56
dodo	67-68	65-66	63-64	61	59-60	56-57	56	55	53
luifel	60	59	57	54	53	51	52	51	49
luifel + scherm	58	57	54	54	53	51	52	51	49

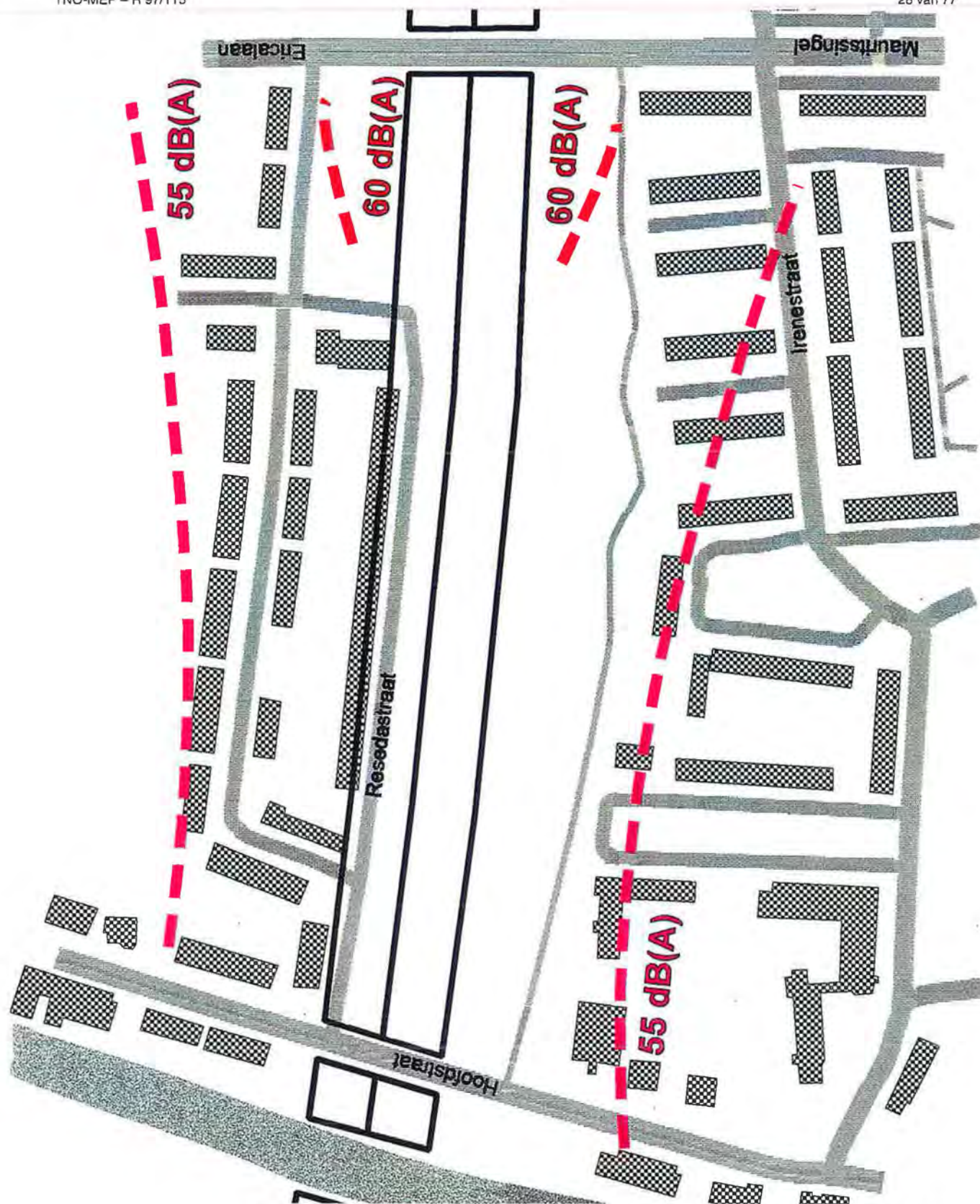
1) Weg op 5 m boven maaiveld, reflecterende geluidschermen van 3 m hoog aan weerszijden, verkeersintensiteiten volgens prognose voor het jaar 2010.



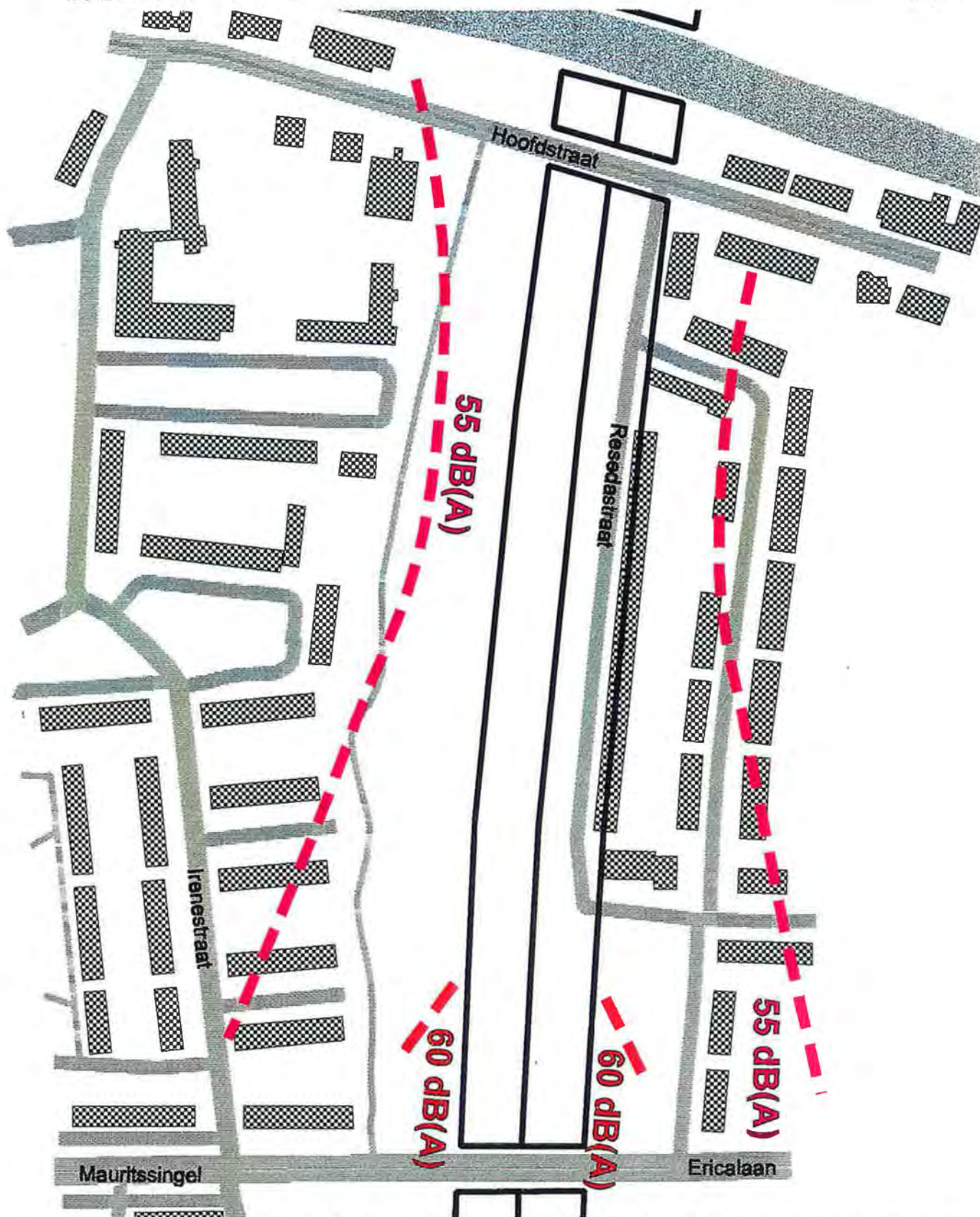
Figuur 3.4 Geluidcontouren van 55 db(A) en 60 dB(A) (Eetmaalwaarde inclusief 3 db(A) aftrek volgens artikel 103) langs rijksweg A4, bij toepassing van verdiepte, open ligging tussen de Oude Rijn en de Ericaalaan (variant "bak"). Waarneemhoogte: 5,0 ten opzichte van het maaiveld.



Figuur 3.5 Geluidcontouren van 55 dB(A) en 60 dB(A) (Eetmaalwaarde inclusief 3 dB(A) aftrek volgens artikel 103) langs rijksweg A4, bij toepassing van verdiepte, deels open en deels overkapte, ligging tussen de Oude Rijn en de Ericaalaan (variant "dodo"). Waarneemhoogte: 5,0 m ten opzichte van het maaiveld.



Figuur 3.6 Geluidcontouren van 55 dB(A) en 60 dB(A) (Etmaalwaarde inclusief 3 dB(A) aftrek volgens artikel 103) langs rijksweg A4, bij toepassing van verdiepte ligging met luifels tussen de Oude Rijn en de Ericalaan (variant "luifel"). Waarneemhoogte: 5,0 m ten opzichte van het maaiveld.



Figuur 3.7 Geluidcontouren van 55 dB(A) en 60 dB(A) (Etmaalwaarde inclusief 3 dB(A) aftrek volgens artikel 103) langs rijksweg A4, bij toepassing een tunnel tussen de Oude Rijn en de Ericalaan (variant "tunnel"). Waarneemhoogte: 5,0 m ten opzichte van het maaiveld.

3.5 Nauwkeurigheid van de berekeningen

3.5.1 Algemeen

De resultaten van het onderzoek zijn in de eerste plaats bedoeld om afwegingen te kunnen maken met betrekking tot de omvang van geluidreducerende maatregelen aan de hand van de daarvan te verwachten effecten. De resultaten van berekeningen in dit rapport kunnen door de volgende oorzaken afwijken van de geluidbelasting die zal optreden in een werkelijke situatie.

1. Onnauwkeurigheid in de rekenmethoden.
2. Vereenvoudigingen van de werkelijkheid in de modellering van de situatie.
3. Onjuiste gegevens over de geluidproductie van voertuigen, in het bijzonder op ZOAB en dubbellaags ZOAB.
4. Onjuiste prognose van de verkeersintensiteiten.

De volgende paragrafen gaan nader in op de punten 1, 2 en 3. Hiervan is de derde de belangrijkste en waarschijnlijk de enige die voor bovenstaande doelstelling een significante systematische afwijking van de rekenresultaten ten opzichte van de werkelijkheid tot gevolg kan hebben. Ten aanzien van punt 4 merken we op dat een 25% hogere verkeersintensiteit dan in dit rapport is aangenomen een toename van de geluidbelasting oplevert van 1 dB(A).

3.5.2 Rekenmodellen

Bij de berekeningen en modelleringen is geen grote mate van nauwkeurigheid nagestreefd, omdat die voor een vergelijking tussen verschillende alternatieven niet zinvol is. Daarnaast kennen ook de rekenmodellen grenzen ten aanzien van een nog zinvolle mate van detaillering. De modellen zijn niet voor alle mogelijke vormen van luifels, schermen, overkappingen en combinaties daarvan gevalideerd. In een later stadium kan het nodig zijn schaalmodelonderzoek uit te voeren om de geluidbelastingen nauwkeuriger in kaart te brengen.

3.5.3 Modellering van het bodemoppervlak

In de modellering voor de berekeningen ligt de zichtlijn vanuit ieder waarneempunt naar een willekeurig punt op de weg boven een met gras begroeide bodem. Dit is een vereenvoudiging van de werkelijke situatie, waarin tussen het waarneempunt en de rand van de weg ook harde bodemoppervlakken van bijvoorbeeld bestrating en water kunnen liggen. Harde bodemoppervlakken zorgen voor een betere geluidoverdracht en dus voor een verhoging van de geluidbelasting.

Op de 5 m hoogte zou een bodem van 50% gras en 50% hard oppervlak een verhoging van het geluidniveau kunnen geven van ongeveer 1 dB(A) ten opzichte van een 100% uit met gras begroeide bodem, zoals in de berekeningen is aangenomen. Naarmate de waarnemingshoogte groter wordt, wordt de invloed van de bodem kleiner.

3.5.4 Wegdekcorrecties

Over de geluidemissie van voertuigen op verschillende wegdektypen bestaat nog enige onduidelijkheid.

De geluidemissie van voertuigen op een standaard-wegdek van dicht asfaltbeton (DAB) is in dit onderzoek gebaseerd op de niet meer actuele cijfers in het Reken- en Meetvoorschrift Verkeerslawaaï [1]. Het Ministerie van VROM heeft TNO opdracht gegeven nieuwe metingen uit te voeren, waarvan de resultaten in de loop van 1997 beschikbaar zullen komen.

In dit onderzoek zijn de wegdekcorrecties voor ZOAB aangehouden uit het Meerdere jaren Uitvoeringsprogramma Geluidhinderbestrijding 1987-1991. Zware vrachtwagens zijn volgens deze correcties op ZOAB niet stiller dan op een wegdek van dicht asfaltbeton, wat op grond van recente metingen niet erg waarschijnlijk is. Voor de bij ZOAB berekende geluidniveaus in dit rapport is deze constatering van belang, omdat de categorie van zware voertuigen in de nachtperiode een grote invloed heeft op de totale geluidemissie. Het bovenstaande geeft aan dat de wegdekcorrectie voor ZOAB in dit onderzoek aan de veilige kant is ingeschat.

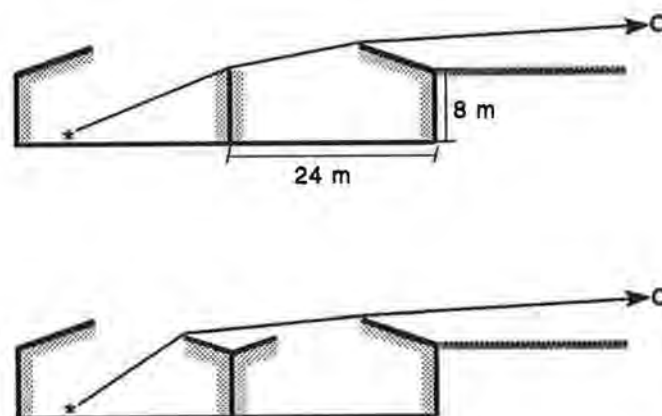
Voor dubbellaags ZOAB is de geluidemissie gebaseerd op meetresultaten van één locatie (een proefvak in rijksweg A16). M+P Raadgevende Ingenieurs BV zullen binnenkort resultaten publiceren van metingen aan dubbellaags ZOAB op verschillende locaties, waarvan de gemiddelde geluidemissie mogelijk zal afwijken van de in dit onderzoek aangehouden waarden.

3.6 Aanvullende overdrachtsmaatregelen

3.6.1 Luifel in de middenberm

Uit de berekeningen blijkt dat het plaatsen van geluidscherm in de middenberm nauwelijks effect heeft wanneer er aan weerszijden van de weg al luifels aanwezig zijn. Alleen op 50 m afstand van de weg op een waarnemingshoogte van 10 m is er sprake van een extra geluidreductie van ongeveer 2 dB(A).

De oorzaak voor het geringe effect is de slechts kleine verlenging van het geluidspad, die het scherm in de middenberm veroorzaakt. Figuur 3.7 laat zien dat een luifel in de middenberm voor een grotere omweg en dus voor een grotere geluidreductie kan zorgen.



Figuur 3.8 Luifel in de middenberm.

3.6.2 Schermenrooster

Uit Duitse literatuur blijkt dat een rooster van verticaal hangende, 1 tot 2 m hoge schermen boven een weg het verkeerslawaaai aanzienlijk kan verminderen. Bij Düsseldorf is een praktijkproef uitgevoerd met verschillende typen 'Rasterdecken' op maaiveldhoogte boven een verdiept gelegen weg met reflecterende verticale wanden aan weerszijden. In deze situatie realiseert een rooster met geluidabsorberende vakken van 0,8 bij 0,8 m op 50 m afstand van de weg een extra geluidreductie van 10 dB(A) ten opzichte van dezelfde situatie zonder rooster. Het effect van het rooster is groter naarmate de afstand tot de weg kleiner is. Verder lijkt op grond

van de onderzochte punten (op 4 tot 9 m boven het maaiveld) de extra reductie toe te nemen als de waarneemhoogte groter wordt.

Op grond van de Duitse meetresultaten is niet direct een kwantitatieve inschatting te geven van het extra effect van een schermenrooster wanneer het in combinatie met verschillende alternatieven voor een verdiepte ligging toegepast zou worden. De bovengenoemde 10 dB(A) is dan mogelijk niet haalbaar. Het is echter wel aanmerkelijk dat toepassing van een schermenrooster onafhankelijk van het gekozen alternatief ('bak', 'dodo' of 'luifel') een aanzienlijke extra geluidreductie in de orde van 5 dB(A) zal opleveren. Deze reductie geldt natuurlijk alleen voor de bijdrage tot het totale geluidniveau van het wegvak waar het rooster boven hangt. Of het totale geluidniveau ook in vergelijkbare mate vermindert, hangt af van de relatieve sterkte van de bijdragen van andere wegvakken. In paragraaf 3.4 zijn met betrekking tot dit punt al de nodige opmerkingen gemaakt.

Het Duitse onderzoek biedt goede aanknopingspunten om schaalmodelonderzoek of rekenmethoden te valideren en daarmee het effect van een schermenrooster beter te kunnen kwantificeren.

3.7 Literatuur bij het deelaspect geluidhinder

- [1] Reken- en Meetvoorschrift Verkeerslawaaï
Regeling als bedoeld in artikel 102, eerste en tweede lid, van de Wet
geluidhinder
Staatsuitgeverij 's-Gravenhage 1981 (ISBN 90 12 03571 1)
- [2] F. de Roo, P.H.J. Koers
TOMAS - Theoretisch overdrachtsmodel aardewallen en schermen
Journaal nr. 108 van het NAG (Nederlands Akoestisch Genootschap), mei
1991
- [3] MER/Trajectnota A4 Burgeveen-Leiden Rijkswaterstaat Directie Zuid-
Holland
DHV Milieu en Infrastructuur BV, dossier K1065 22.002, oktober 1996
- [4] G.J. van Blokland, H.F. Reinink, W. van Keulen De geluidproductie van
ZOAB-wegdekken onder praktijkomstandigheden.
M+P Raadgevende Ingenieurs BV, rapport MVM.92.3.2, maart 1996
- [5] 5. C. Zwicker, C.W. Kosten Sound Absorbing Materials
Elsevier, 1949

- [6] “Weg met Geluid”
Publicatie nummer 67 van het CROW (Centrum voor Regelgeving en
Onderzoek in de Grond-, Water en Wegenbouw en de Verkeerstechniek),
januari 1993

4. Deelaspect lokale luchtverontreiniging

Dit hoofdstuk beschrijft de gevolgde aanpak, de gebruikte methodieken en de resultaten van het deelaspect lokale luchtverontreiniging.

4.1 Inleiding

De luchtkwaliteit is een van de milieu-aspecten die in de trajectstudie/m.e.r. A4 Burgerveen-Leiden betrokken wordt. TNO heeft hiervoor onderzoek verricht naar de emissies- en concentraties van luchtverontreinigende stoffen afkomstig van het wegverkeer over de A4 te Leiderdorp en de gevolgen daarvan voor de omgeving. De uitgevoerde werkzaamheden kunnen worden beschouwd als de basis voor de paragrafen voor dit milieu-aspect in de trajectstudie/m.e.r. Hierbij stond de volgende onderzoeksvraag centraal: in hoeverre voldoen de in hoofdstuk 2 genoemde alternatieven van de verdiepte rijksweg aan de wettelijke grens-/streef/richtwaarden.

In dit hoofdstuk zijn de bevindingen van de probleemanalyse van de huidige situatie en de autonome ontwikkelingen tot het jaar 2010 worden vastgelegd.

4.2 Aanvullende uitgangspunten

Studiegebied

Het studiegebied omvat een strook van ruim 500 meter breedte aan beide zijden van de rijksweg A4 over een lengte van circa 1600 meter. Voor de berekeningen van de luchtkwaliteit zijn alleen de emissies van het verkeer op de A4 meegenomen.

Luchtkwaliteit

De kwantitatieve beschrijving van het aspect lokale luchtkwaliteit zal bestaan uit de berekening van de jaargemiddelde concentraties en percentielen in het studiegebied.

De berekeningen worden uitgevoerd voor een grid van roosterpunten met een onderlinge afstand van 10 meter voor een strook van ruim 500 meter breedte aan beide zijden van rijksweg 4.

De volgende componenten zijn in beschouwing genomen:

- stikstofdioxide (NO₂), 98-percentiel van 1-uurwaarden
- koolmonoxide (CO), 98-percentiel van 8-uurwaarden
- benzeen, jaargemiddelde
- benzo(a)pyreen (BaP), jaargemiddelde.

Verkeerskundige invoergegevens

Voor de berekeningen van de verkeersemisseries en van de concentraties en de blootstelling binnen het studiegebied worden de volgende verkeersgegevens gebruikt:

- de etmaalintensiteiten van personenauto's en vrachtwagens zijn berekend voor de autonome ontwikkeling van het verkeer op de A4 in het jaar 2010 op basis van modelberekeningen en gegevens aangeleverd door de opdrachtgever, zie ook [1],
- de snelheidslimiet is 100 km/uur, uitgaande van gegevens van de opdrachtgever, zie ook [1],
- de ligging van de wegen is ontleend aan een digitaal bestand van Rijkswaterstaat, bevattende begin- en eindpunt van alle (deel)wegvakken van de A4 zoals die door de opdrachtgever zijn aangeleverd [2].

4.3 Toetsingscriteria voor luchtkwaliteit en blootstelling

4.3.1 Algemene normen voor de luchtkwaliteit

Bij de normen voor de luchtkwaliteit onderscheidt men grens-, richt- en streefwaarden. Grens- en richtwaarden hebben een wettelijke status. Een grenswaarde mag niet worden overschreden en bij een richtwaarde moet overschrijding zoveel mogelijk moet worden vermeden. Streefwaarden hebben, in tegenstelling tot grens- en richtwaarden geen wettelijke basis.

De grenswaarden voor de buitenluchtkwaliteit zijn veelal geformuleerd met het oog op de bescherming van mensen. De grenswaarden voor NO₂, CO en benzeen hebben een wettelijke status door middel van een Algemene Maatregel van Bestuur (AMvB). Voor benzo(a)pyreen is onlangs een strengere grenswaarde voorgesteld. Deze nieuwe grenswaarde voor benzo(a)pyreen wordt als concept-grenswaarde opgegeven. Flora en fauna zijn in het algemeen ook gevoelig voor luchtverontreiniging.

Een overzicht van grens-, richt- en streefwaarden (jaargemiddelden en percentielen) wordt gegeven in tabel 4.1, zie ook [9], [10].

Tabel 4.1 Grens-, richt en streefwaarden voor de luchtkwaliteit in mg/m^3 .

Verbinding	Concentratie (in mg/m^3)	Status	Omschrijving ^{*)}
NO ₂	135 ^{**)}	Grenswaarde	98-percentiel van uurwaarden
	80	Richtwaarde	98-percentiel van uurwaarden
CO	6000 ^{**)}	Grenswaarde	98-percentiel van 8-uurwaarden
	40000	Grenswaarde	99,99-percentiel van 8-uurwaarden
Benzeen	10 ^{**)}	Grenswaarde	jaargemiddelde concentratie
	5	Richtwaarde	jaargemiddelde concentratie
	1	Streefwaarde	jaargemiddelde concentratie
BaP	0,001	Grenswaarde ^{***)}	jaargemiddelde concentratie
	0,0005	Richtwaarde	jaargemiddelde concentratie
	0,00001	Streefwaarde	jaargemiddelde concentratie

*) De 50- of 98-percentielwaarde is de uur-, 8-uursgemiddelde concentratie die gedurende 50 of 98% van de jaarperiode juist niet wordt overschreden.

**) Voor wegen binnen de bebouwde kom waar de grenswaarden in de huidige toestand worden overschreden, zijn de grenswaarden voor NO₂, CO en benzeen tijdelijk verhoogd. Deze verhoogde grenswaarden worden in stappen verlaagd tot het niveau van de in de tabel 1 genoemde grenswaarden in het jaar 2000. Voor wegen buiten de bebouwde kom en toekomstige situaties geldt deze uitzonderingstoestand echter niet. Autosnelwegen liggen per definitie (Wegenverkeerswet) buiten de bebouwde kom. Daarom zal hier voor de huidige situatie getoetst worden op de grenswaarden van deze tabel.

***) Ontwerp-grenswaarde.

Uit onderzoeken is het duidelijk geworden dat de meeste koolwaterstoffen pas schadelijk zijn bij veel hogere concentraties dan welke in de buitenlucht voorkomen. Voor deze groep van stoffen als geheel is daarom dan ook geen grenswaarde voor de luchtkwaliteit. Belangrijke uitzonderingen voor het verkeer zijn benzeen en de polycyclische aromatische koolwaterstoffen. Van de laatste groep stoffen wordt benzo(a)pyreen het meest schadelijk geacht en als zodanig als maatgevend beschouwd.

4.3.2 Toetsingscriteria voor deze studie

De beoordeling wat betreft schadelijke concentraties vindt plaats aan de hand van toetswaarden die afgeleid zijn van de wettelijke grens- en richtwaarden. De berekende concentraties zijn gebaseerd op een over lange termijn gemiddelde meteorologische statistiek. In jaren met een voor de verspreiding ongunstige meteorologie komt de concentratie hoger uit. Om overschrijding in dergelijke jaren tegen te gaan zal een veiligheidsmarge aangehouden moeten worden.

In de praktijk blijkt dat in een ongunstig jaar de grenswaarde voor het 98-percentiel van NO₂ (135 mg/m^3) ongeveer bereikt wordt wanneer de meerjarig gemiddelde waarde 120 mg/m^3 bedraagt [18]. Daarom is bij toetsing aan de grenswaarden voor NO₂ naast de 135 mg/m^3 ook de waarde van 120 mg/m^3 voor het 98-percentiel voor ongunstige jaren gebruikt.

Voor de overige componenten kan de variatie circa 20% bedragen. De berekende concentraties van de overige stoffen blijken in 2010 steeds duidelijk meer dan 20% onder de grenswaarde te liggen, zodat er geen behoefte aan het onderscheid tussen ongunstige en gemiddelde jaren is.

Voor NO₂ en CO zijn de normen gebaseerd op percentielwaarden, voor benzeen en benzo(a)pyreen op jaargemiddelden.

De bij deze studie gebruikte toetswaarden voor luchtkwaliteit staan weergegeven in tabel 4.2.

Tabel 4.2 Toetswaarden buitenluchtkwaliteit in mg/m³.

Verbinding	Concentratie (in mg/m ³)	Status	Omschrijving *)
NO ₂	135	Grenswaarde	98-percentiel van uurwaarden
	120	Grenswaarde **)	98-percentiel van uurwaarden
	80	Richtwaarde	98-percentiel van uurwaarden
CO	6000	Grenswaarde	98-percentiel van 8-uurwaarden
Benzeen	10	Grenswaarde	jaargemiddelde concentratie
	5	Richtwaarde	jaargemiddelde concentratie
BaP	0,001	Grenswaarde **)	jaargemiddelde concentratie
	0,0005	Richtwaarde	jaargemiddelde concentratie

*) ongunstige verspreiding;

**) zie tekst concept grenswaarde.

4.4 Berekeningsmethoden en invoergegevens

4.4.1 Berekening van de emissies

De grootte van de uitworp van de verschillende stoffen is sterk afhankelijk van het motorvermogen, de soort brandstof, het rijgedrag en de rijnsnelheid. Uit de door het CBS gehanteerde emissiefactoren (gram verontreiniging per afgelegde meter) voor de verschillende voertuigtypen, brandstofsoorten en gemiddelde snelheden kan voor de betreffende wegen in het studiegebied een emissiesterkte worden berekend.

De door RWS-ZH opgegeven verkeersintensiteiten op de A4 in het studiegebied bedragen voor een autonome ontwikkeling tot 2010: voor personenwagens 105293 per etmaal en voor vrachtwagens 15104 per etmaal.

Voor de berekening van de toekomstige situatie is een inschatting noodzakelijk van de emissiefactoren tot het jaar 2010. De emissiefactoren zijn voortdurend aan verandering onderhevig door vernieuwing van het wagenpark, introductie van verbeterde motortypen en wijzigingen in de aandelen van de verschillende brandstofsoorten, voertuigtypen en gewichtsklassen. Onder invloed van wettelijke maatre-

gelen en technologische ontwikkelingen zullen de emissiefactoren van de meeste verbindingen de komende jaren flink kunnen dalen. Aangezien deze daling over het algemeen sterker is dan de toeneming van de verkeersintensiteiten, zullen ook de totale emissies door het wegverkeer in de toekomst afnemen.

De bestrijding van verkeersemissies richt zich momenteel vooral op de personenauto's met benzinemotoren. Bij vrachtwagens zijn maatregelen in EG-verband eerst halverwege de jaren negentig van kracht geworden.

De emissiefactoren per voertuigcategorie voor het jaar 2010 zijn ontleend aan de prognoses van het RIVM in het kader van de Milieutoekomstverkenningen [8], die aangegeven hoe de emissiefactoren voor personenauto's en vrachtwagens zich in de komende jaren mogelijk zullen ontwikkelen. Er wordt daarbij geen onderscheid gemaakt voor de verschillende vrachtwagencategorieën.

De emissiefactoren staan per voertuigcategorie voor de verschillende jaren vermeld in de onderstaande tabellen.

Tabellen 4.3a tot 4.3e Emissiefactoren van het wegverkeer op snelwegen met snelheidslimiet voor personenauto's (in mg per meter per voertuig)

Tabel 4.3a Personenauto's en bestelwagens 1992.

limiet (km/u)	NO _x	CO	Benzeen	BaP
100	2,21	4,6	2,5	0,021

Tabel 4.3b Middelzware vrachtwagens en bussen 1992.

limiet (km/u)	NO _x	CO	Benzeen	BaP
80	14,3	2,1	14,5	0,044

Tabel 4.3c Zware vrachtwagens 1992.

limiet (km/u)	NO _x	CO	Benzeen	BaP
80	17,1	2,6	14,5	0,044

Tabel 4.3d Personenauto's en bestelwagens 2010 (European Renaissance 2).

limiet (km/u)	NO _x	CO	Benzeen	BaP
100	0,56	1,40	1,8	0,007

Tabel 4.3e Vrachtwagens en bussen (European Renaissance 2).

limiet (km/u)	NO _x	CO	Benzeen	BaP
80	4,0	1,25	2,0	0,003

De emissies worden per wegvak per component berekend volgens:

$$E_w = N_p * E_p + N_m * E_m + N_z * E_v$$

waarin:

E_w	=	de emissie in mg per strekkende meter weg per etmaal
N_p	=	het aantal passerende personenauto's per etmaal (totaal van beide rijrichtingen)
E_p	=	de emissie van personenauto's in mg per meter per voertuig.
N_m	=	het aantal passerende middelzware vrachtwagens per etmaal
E_m	=	de emissie van middelzware vrachtwagens in mg per meter per voertuig.
N_z	=	het aantal passerende zware vrachtwagens per etmaal
E_z	=	de emissie van zware vrachtwagens in mg per meter per voertuig.

De emissie over het gehele wegvak wordt verkregen door vermenigvuldiging van de emissie per meter (E_w) van de betreffende component met de weglengte in meter (WL_w). De totale emissie van een stof over alle wegvakken in het studiegebied wordt dan (uitgedrukt in ton per jaar):

$$E_t = 365 * S (E_w * WL_w) / 10^9$$

Voor de verspreidingsberekeningen wordt de emissie E_w omgerekend naar een emissiesterkte E_{ws} (mg per strekkende meter per seconde):

$$E_{ws} = E_w / (24 * 3600).$$

4.4.2 Berekening van de concentraties langs de weg

De bijdragen van het wegverkeer aan de jaargemiddelde concentraties nabij de wegen zijn berekend met het TNO-verspreidingsmodel voor verkeersemissies [12]. Dit model beschrijft de verspreiding van luchtverontreiniging afkomstig van lijnbronnen (zoals verkeerswegen) aan de hand van een lange termijn klimatologie (gecombineerde frequentie van voorkomen van windrichting en windsnelheid) en turbulentieparameters [13]. De turbulentie veroorzaakt door de voertuigen zelf (afhankelijk van de rijsnelheid), de hoogteligging van de weg, de bebouwing en door de geluidbeperkende voorzieningen worden bij de berekeningen meegenomen [14].

Voor het berekenen van de toename van de NO_2 -concentraties door reactie van NO met het ozon in de atmosfeer is gebruik gemaakt van een empirische relatie. Deze beschrijft het verband tussen de NO_x -uitstoot door het verkeer en de vorming van NO_2 in de atmosfeer aan de hand van de achtergrondconcentraties van NO_2 en ozon in twaalf windrichtingsklassen [12].

Bij de berekeningen is aangenomen dat 5% van de NO_x -emissie direct als NO_2 wordt uitgestoten. Het model is gevalideerd door vergelijking van gemeten en berekende concentraties. Hierbij is gebleken dat de nauwkeurigheid van de berekende jaargemiddelde verkeersbijdrage beter is dan 20%. Dat wil zeggen dat de berekende jaargemiddelde verkeersbijdrage aan de concentraties minder dan 20% afwijkt van de werkelijke waarden.

Bij NO_2 en CO zijn grenswaarden voor de luchtkwaliteit gebaseerd op de 98-percentielwaarden van respectievelijk 1 uur- en 8-uurswaarden van een jaar. De 98-percentielwaarden worden, analoog aan de methode van het Nationale Model [15], berekend aan de hand van de concentratiebijdrage in 36 windrichtingen en de verdeling per windrichting van de achtergrondconcentraties [16]. De onzekerheid in de berekende percentielen is groter dan die bij de jaargemiddelden.

De onzekerheid in de achtergrondconcentraties en de ontwikkeling ervan is, in absolute zin, groter dan de onzekerheid in de rekenresultaten. Dit hoeft de vergelijking van alternatieven niet in de weg te staan. Wel dient in verband hiermee bij een toetsing van de berekende totale concentraties aan grens- en richtwaarden de nodige voorzichtigheid in de conclusies te worden betracht.

Emissies

De uitwerp door het wegverkeer is berekend uitgaande van de verkeersintensiteiten, voertuigsamenstelling, snelheidsverdeling en bijbehorende emissiefactoren (in mg per strekkende meter per seconde, zie tabel 3). Voor de berekening van de emissies door het wegverkeer op de eerder genoemde wegvakken van de A4 is geïnterpoleerd tussen de resultaten, berekend op de knooppunten van het grid. Om randeffecten bij de contourplots te vermijden zijn voor de verspreidingsberekeningen ook de emissies op de aansluitende wegvakken in beschouwing genomen. De emissies van deze wegdelen zijn ingevoerd als lijnbronnen met de coördinaten van begin en einde van het wegvak, zoals in digitale vorm zijn aangeleverd door de opdrachtgever.

Klimatologie

Voor de invoer van de meteorologische gegevens is de langjarige klimatologie van Midden-Nederland, bestaande uit een tabel met de frequenties van voorkomen van de verschillende combinaties van windrichting en windsnelheid [17].

Invloed van bebouwing, ligging en geluidbeperkende voorzieningen

Bebouwing, verdiepte of verhoogde ligging, en geluidbeperkende voorzieningen zoals geluidschermen veroorzaken turbulente luchtstromingen en hebben als zodanig invloed op de verspreiding van luchtverontreinigende stoffen. In het algemeen treedt hierdoor een grotere verdunning op van de uitlaatgassen en worden de concentraties verlaagd. De effecten zijn het grootst in de directe omgeving; op grotere afstand neemt de invloed af.

Invloed van tunnels

Bij een tunnel komen de emissies door het verkeer in de tunnel vrij aan beide uiteinden. Dit wordt in het model nagebootst door de emissies in de tunnel voor 50% te laten vrijkomen aan elk van de twee tunnelopeningen. Hierbij wordt verder wel rekening gehouden met een verhoogde turbulentie.

Plaatsen waar concentraties zijn berekend

De jaargemiddelde concentraties en percentielen van NO₂, CO, benzeen, benzo(a)pyreen, (verkeersbijdrage plus achtergrondconcentratie) zijn berekend voor een grid roosterpunten met onderlinge afstanden van 10 meter voor een strook van ruim 500 meter breedte aan beide zijden van de A4. Bij de presentatie van de contouren is uitgegaan van een rechthoekig gebied van 1500 bij 1500 meter.

Omdat uit eerdere studies is gebleken dat NO₂ de meest kritische stof voor de luchtkwaliteit, worden de concentratieniveau's van deze stof (98-percentielwaarden) als maatstaf genomen voor de blootstelling aan luchtverontreiniging.

Voor de beoordeling van de effecten van de verkeersemisies op de A4 zijn alleen voor NO₂ figuren met concentratiecontouren vervaardigd met de volgende concentratiegrenzen:

- >135 µg/m³
- 120 - 135 µg/m³
- 100 - 120 µg/m³
- 80 - 100 µg/m³
- < 80 µg/m³

Achtergrondconcentraties

De achtergrondconcentraties zijn ontleend aan meetresultaten van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit [18] en de gegevens van het project Milieutoekomstverkenning van het RIVM [9] voor de jaren 1990 en 2010. Voor de berekeningen van de 98-percentielen van NO₂ en CO is uitgegaan van de verdeling van de concentratie per windrichting voor de regio Zuid-Holland, overgenomen van het RIVM [17].

De bij deze studie gehanteerde achtergrondconcentraties worden weergegeven in tabel 4.4.

Tabel 4.4 Representatieve jaargemiddelde achtergrondconcentraties voor Zuid-Holland in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

component	2010
NO ₂ (98-percentiel)	84
CO (98-percentiel)	750
Benzeen (jaargemiddelde)	1,0
BaP (jaargemiddelde)	0,0004

De waarde voor de achtergrondconcentratie van NO₂ is overeenkomstig aan die van een eerdere studie naar de luchtkwaliteit in Zuid-Holland [19].

4.5 Resultaten deelaspect lokale luchtverontreiniging

Bij de beoordeling van de concentraties dient het grootste gewicht te worden toegekend aan de component NO₂; deze zijn maatgevend voor luchtvervuiling door verkeer op autowegen.

Derhalve zijn in dit rapport de iso-concentratiecontouren voor NO₂, op basis van de autonome ontwikkeling tot het jaar 2010 opgenomen, zie bijlage A.2.

De grenswaarde (een concentratie die niet mag worden overschreden) voor het 98-percentiel van uurwaarden van NO₂ bedraagt $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In meteorologisch ongunstige jaren kan overschrijding van de grenswaarde al optreden bij een met een lange-termijn klimatologie berekende concentratie van $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Beide concentraties zijn bij de toetsing in beschouwing genomen.

Alternatief 1: open bak

De grenswaarde voor NO₂ van $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wordt buiten de open bak nergens overschreden. De toetswaarde van $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wordt langs het diepe gedeelte tot circa 10 meter buiten de bak (30 meter vanaf de wegas) overschreden. Deze afstand loopt voor het overige weggedeelte op tot circa 40 meter vanaf de wegas (op maaiveldhoogte).

Alternatief 2: dodo

De grenswaarde van $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wordt overschreden langs de open gedeelten tot circa 10 meter buiten de bak (30 meter vanaf de wegas). Voor de toetswaarde van $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ is deze afstand circa 40 meter vanaf de wegas.

Alternatief 3: tunnel

Volgens de berekeningen wordt ter plaatse van de tunnelopeningen de grenswaarde van $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$ overschreden tot circa 50 meter van de wegas. Voor de toetswaarde van $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ is deze afstand circa 75 meter. Op plaatsen naast de tunnel komen geen hoge concentraties voor. Voor de aanloopstukken bij de tunnel is de situatie vergelijkbaar met de open bak.

Alternatief 4a: luifel

Bij het diepe gedeelte van de open bak met luifels treedt nergens overschrijding van de grenswaarde of toetswaarde op.

Voor de overige componenten zijn de conclusies vergelijkbaar aan die van NO₂, met dien verstande dat de concentraties minder kritisch zijn.

4.6 Literatuur bij het deelaspect lokale luchtverontreiniging

- [1] F.J. Verheij
Startnotitie Milieu- en veiligheidseffecten verdiepte ligging A4 bij Leiderdorp - definitieve versie
TNO, bijlage bij brief 16401/112330-27606, Apeldoorn, 6 november 1996
- [2] Coördinaten van de A4 zijn door Rijkswaterstaat verstrekt en per email digitaal aangeleverd, door J.J. van Ettinger op 25 november 1996.
- [3] Ministers van Verkeer en Waterstaat en van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.
Tweede Structuurschema Verkeer en Vervoer, deel d: regeringsbeslissing.
Handelingen van de Tweede Kamer, vergaderjaar 1989-1990, 20922, nrs. 15-16, SDU uitgeverij, 's-Gravenhage, 1990.
- [4] De Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.
Nationaal Milieubeleidsplan (NMP).
Handelingen van de Tweede Kamer, vergaderjaar 1988-1989, 21137, nrs. 1-2, SDU uitgeverij, 's-Gravenhage, 1989.
- [5] Ministers van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, van Economische Zaken, van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, en van Verkeer en Waterstaat.
Nationaal Milieubeleidsplan Plus.
Handelingen van de Tweede Kamer, vergaderjaar 1989-1990, 21137, nrs. 20-21, SDU uitgeverij, 's-Gravenhage, 1990.
- [6] Ministers van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, van Economische Zaken, van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, van Verkeer en Waterstaat, en van Ontwikkelingssamenwerking.
Tweede Nationaal Milieubeleidsplan (NMP2).
Handelingen van de Tweede Kamer, vergaderjaar 1993-1994, 23560, nrs. 1-2, SDU uitgeverij, 's-Gravenhage, 1994.

- [7] Centraal Bureau voor de Statistiek.
Luchtverontreiniging; emissies door wegverkeer 1970-1992.
Interne notitie, Voorburg, 1993.
- [8] Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Adviesdienst Verkeer en Vervoer van Rijkswaterstaat.
Verkeer en Vervoer in de Nationale Milieuverkenning 3 en de SVV-Verkenning 1993.
RIVM-rapport 251701014, Bilthoven, december 1993.
- [9] Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.
Stoffen en Normen 1990.
Directoraat-Generaal Milieubeheer, Samsom, Leidschendam, 1990.
- [10] De Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.
Besluit luchtkwaliteit benzeen.
Handelingen van de Tweede Kamer, Staatsblad 1993 35.
- [11] Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne.
Handleiding CAR programma, CAR 92 (versie 7.0).
RIVM, Bilthoven, januari 1993.
- [12] Hout, K.D. van den, H.P. Baars.
Ontwikkeling van twee modellen voor de verspreiding van
luchtverontreiniging door verkeer: Het TNO-verkeersmodel en het
CAR-model.
Rapport 88/192, MT-TNO, Delft, 1988.
- [13] Commissie Onderzoek Luchtverontreiniging.
Modellen voor de berekening van de verspreiding van luchtverontreiniging,
inclusief de aanbevelingen voor de waarden van parameters in het
lange-termijnmodel.
Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage, 1976.
- [14] Boeft, J. den.
Beschrijving van een eenvoudige systematiek voor het berekenen van
concentraties van luchtverontreiniging nabij verhoogde en verlaagde wegen
en tunnels.
IMW-TNO, Rapport 92/268, Delft, 1992.
- [15] Commissie Onderzoek Luchtverontreiniging.
Frequentieverdelingen van luchtverontreinigingsconcentraties. Een
aanbeveling voor een rekenmethode.
Nieuwe aanbevelingen, SCMO-TNO, Delft, 1984.

- [16] Tonkelaar, W.A.M. den.
Ontwikkeling van een rekenmethode voor het bepalen van hoge percentielen in verkeerssituaties. TNO-Verkeersmodel versie 5.1.
Rapport 91/360, IMW-TNO, Delft, 1991.
- [17] MT-TNO.
Handleiding Pluimplus-programmapakket.
Versie 1.2, 2e druk, Delft, 1989.
- [18] Rijksinstituut voor de Volksgezondheid en Milieuhygiëne.
Overzichten van meetresultaten van het Nationaal Meetnet Luchtkwaliteit 1992.
NML-RIVM, Rapport 722101003, Bilthoven, 1993.
- [19] Boeft, J. den,
Lokale luchtkwaliteit langs wegen buiten de bebouwde kom in de provincie Zuid-Holland (1995 en 2010), TNO-MEP, Rapport 96/394, Delft, 1996.

5. Deelaspect interne- en externe veiligheid

Voor het berekenen van het interne risico en het externe risico door het verkeer en door het vrijkomen van lading bij het transport van gevaarlijke stoffen, worden een aantal ongevalsscenario's gedefinieerd. Een ongevalsscenario geeft een beschrijving van het ongeval, de gebeurtenissen als gevolg van dat ongeval en de mogelijke gevolgen voor de weggebruikers (intern risico) en de gevolgen voor de omgeving (extern risico).

Bij het vaststellen van de ongevalsscenario's wordt onderscheid gemaakt tussen "normale" ongevallen (paragraaf 5.2) en ongevallen met gevaarlijke stoffen (paragraaf 5.3). Alleen die ongevallen worden beschouwd waarbij dodelijk letsel is opgetreden. Dit omdat het te berekenen risico betrekking heeft op dodelijke slachtoffers. Voor de keuze van de ongevalsscenario's wordt aangesloten bij de scenariokeuze gemaakt in studies met betrekking tot overkapte rijkswegen [1] en de tunnel ten behoeve van de Westerschelde-oeververbinding [2].

Er is aangenomen dat alle typen gevaarlijke stoffen worden getransporteerd over de verdiepte rijksweg A4, ook door de overdekte- of tunnelgedeelten van het beschouwde deeltraject.

In paragraaf 5.4 worden de resultaten van de berekeningen gepresenteerd. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar:

- risico voor de weggebruiker (interne veiligheid):
 - individueel risico of verwachtingswaarde
 - groepsrisico
- risico voor de omgeving (externe veiligheid):
 - individueel risico
 - groepsrisico.

De resultaten zijn zodanig gepresenteerd, dat de alternatieven voor elk van deze "typen" risico's met elkaar kunnen worden vergeleken.

Voor het deelaspect interne- en externe veiligheid zijn de volgende specifieke uitgangspunten, aanvullend op de uitgangspunten genoemd in paragraaf 2.2, gehanteerd:

- ongevalslokaties

Voor de ongevalsontwikkeling is naast het vrijkomen van brandbare of toxische lading ook de ongevalslokatie van belang. Hierbij is onderscheid gemaakt naar stijgend, dalend en/of gesloten gedeelte. Voor elke van de te onderscheiden trajectdelen wordt een ongevalsscenario opgesteld. Daarnaast is bij de tunnel (alternatief 3) nog onderscheid gemaakt naar de ongevalslokatie ten aanzien van vluchtmogelijkheden:

 - tussen twee vluchtmogelijkheden
 - ter plaatse van een vluchtmogelijkheid waarbij de vluchtmogelijkheid zodanig wordt geblokkeerd dat deze geen dienst meer kan doen als vluchtdoor. Deze situatie geeft de grootst denkbare schade.

- filevorming
Ingeval van ongevallen is aangenomen dat het verkeer, bij stilstand in de tunnel, kan worden stilgelegd. Een en ander is afhankelijk van de installatie van bijvoorbeeld stilstanddetectie.
- vluchtsnelheid
Voor de verschillende alternatieven is op basis van literatuurgegevens een vluchtsnelheid geschat op grond van de vrije ruimte tussen de voertuigen, personendichtheid en de af te leggen afstand tot aan de dichtstbijzijnde vluchtmogelijkheid. In bijlage D is een beschrijving gegeven van de berekening van de vluchtsnelheid.
Uit de berekeningen blijkt dat, afhankelijk van de gehanteerde modellen, de vluchtsnelheid varieert van 0,6 tot 1,6 m/s. Omdat er op basis van de beschikbare literatuur geen uitspraak kan worden gedaan omtrent de voorkeur voor een van de modellen, wordt de gemiddelde waarde van 1,1 m/s als vluchtsnelheid gehanteerd.
- hulpverlening
Voor de schatting van de schadeomvang is mogelijke hulpverlening niet in beschouwing genomen.
- gewonden en doden initiële ongeval
De schadeomvang van initiële letselongevallen is afgeleid uit gegevens van het AVV [3] voor de prognose voor 2010 met betrekking tot ongevallen op autosnelwegen met tenminste 3 rijstroken per rijrichting. De volgende cijfers zijn gehanteerd:
 - aantal gewonden per letselongeval: 1,40
 - aantal doden per letselongeval: 0,09Letsel percentage onder gewonden (bij alle effecten) bedraagt 50%, maar 100% bij een benzinebrand en bij een BLEVE (zowel toxisch gas als brandbaar gas, zie verder paragraaf 5.3).
In bijlage C zijn de uitgangspunten beschreven die zijn gehanteerd bij de effect- en schadeberekeningen voor ongevallen op overdekte weggedeelten.

5.1 “Normale” ongevallen

Ongevallen waarbij geen gevaarlijke stoffen betrokken zijn, worden in dit onderzoek aangeduid als “normale” ongevallen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in:

- verkeersongevallen met dodelijk letsel
- verkeersongevallen met dodelijk letsel en brand.

Daarnaast wordt nog onderscheid gemaakt in ongevallen met personenauto's en ongevallen met vrachtauto's. Bij ongevallen met vrachtauto's worden drie situaties onderscheiden:

- brand van de cabine
In deze situatie is er geen brandbare lading aanwezig.

- brand van de cabine en brandbare lading.
Hierbij worden hete verbrandingsgassen verspreid en worden gebruikelijke verbrandingsprodukten zoals koolmonoxyde en roet gevormd.
- brand waarbij meer toxische verbrandingsprodukten worden gevormd.
Dit is bijvoorbeeld het geval bij een brand van kunststoffen zoals PVC (polyvinylchloride). Bij de brand van dit type chloor houdende stoffen wordt het toxische verbrandingsprodukt zoutzuur gevormd. Dit is met name van belang bij brand van vrachtauto's geladen met dit type kunststoffen, zoals kunststofkratten.

5.1.1 “Normale” ongevallen en brand

Bij brand van voertuigen op de weg kunnen verschillende effecten worden onderscheiden waardoor personen kunnen worden getroffen. In eerste instantie is dat de brand zelf en de daarbij ontwikkelde warmte. Hierdoor kan op korte afstand letaal letsel ontstaan door direct vlamcontact en door warmtestraling.

Op grotere afstand kan letaal letsel ontstaan door inhalatie van verbrandingsprodukten en blootstelling aan hete verbrandingsgassen. Overigens wordt deze schade alleen veroorzaakt bij ongevallen op overdekte weggedeelten. Bij ongevallen in de open gedeelten stijgen de hete rookgassen op en veroorzaken geen schade op de weg.

De genoemde effecten en de mogelijke schade worden in de volgende paragraaf in meer detail beschreven. Aansluitend worden de gehanteerde frequenties van voorkomen opgesomd.

5.1.2 Effecten en schade-afstanden

Hete verbrandingsgassen

In bijlage C is de berekeningswijze van de effecten en de schade-afstanden beschreven.

De belangrijkste uitgangspunten en resultaten zijn hieronder kort samengevat.

In figuur 1, bijlage C is de temperatuur in de tunnel gegeven als functie van de afstand voor branden van personenauto's, vrachtwagens en benzinebranden:

- Voor branden van personenwagens blijkt dat de maximale temperatuur circa 200 °C bedraagt en binnen ongeveer 75 meter tot 45°C is gedaald. Bij brand van personenauto's is, met het oog op de relatief geringe schade-afstanden, aangenomen dat letaal letsel alleen optreedt onder minder-validen over een afstand van ca. 50 meter. Voor details wordt verwezen naar bijlage C.
- Voor branden van vrachtwagens zijn hogere temperaturen berekend. Uit de figuur blijkt dat ter plaatse van de brand de temperatuur ca. 700°C bedraagt,

binnen 100 meter daalt naar 190°C en vervolgens constant blijft. Aangenomen wordt dat over een 2x zo grote afstand de temperatuur 190°C blijft.

- Bij branden van benzine (zie verder paragraaf 5.3) is de temperatuur ter plaatse van de brand maximaal ca. 1200°C en daalt slechts heel langzaam. De temperatuur zal steeds hoger zijn dan 200°C, de temperatuur waarbij binnen enkele seconden letaal letsel optreedt. Bij brand in een overdekte situatie (alternatief 2) zal sprake zijn van 100% letaliteit onder de aanwezigen. Indien in een tunnel (alternatief 3) situatie de ventilatie wordt ingeschakeld dan vindt verspreiding van verbrandingsgassen plaats in de rijrichting. Als niet wordt geventileerd dan vindt verspreiding van de verbrandingsgassen plaats in beide richtingen.

Vorming van HCl bij brand van PVC houdende lading

Naast hete verbrandingsgassen bevat een brand van een PVC houdende lading ook het verbrandingsprodukt HCl. In bijlage C is berekend dat de HCl in een overdekte situatie maximaal ca. 4570 mg.m⁻³ bedraagt en niet bijdraagt aan de schadeomvang.

Vorming van CO

In bijlage C is beschreven dat de bijdrage van CO aan de schade-omvang in een overdekte situatie kan worden verwaarloosd. Dit op basis van het feit dat CO alleen bij relatief hoge concentraties dodelijk letsel kan veroorzaken. Deze hoge concentraties komen met name voor nabij de brand waarbij de schade juist bepaald wordt door de hete verbrandingsgassen.

Samenvattend zijn de volgende schade-afstanden gehanteerd voor “normale” ongevallen:

- personenauto- en vrachtauto(cabine)brand:
 - 50 meter in de overdekte gedeelten (alternatieven 2 en 3), waarbij alleen letaal letsel optreedt onder minder validen, ouderen en personen met gezondheidsproblemen (percentage kwetsbare personen is geschat op 5% van de aanwezigen)
 - geen extra schade in de open gedeelten
- brand vrachtauto plus lading:
 - letaal letsel over de volle lengte in de overdekte gedeelten (alternatieven 2 en 3)
 - geen extra schade in de open gedeelten

5.1.3 Frequentie van voorkomen

Voor het vaststellen van de frequentie van optreden van schade door ongevallen op de weg kunnen verschillende deelfrequenties en deeltansen worden onderscheiden.

In de eerste plaats is er het initiërende ongeval: de initiële ongevalsfrequentie. De bijbehorende frequentie van voorkomen geldt voor zowel “normale” ongevallen als ongevallen met gevaarlijke stoffen.

Voor “normale” ongevallen is er de kans dat het voertuig in brand raakt: de kans op brand gegeven een ongeval. Bij een brand van een vrachtwagen is het dan verder nog van belang of er sprake is van een brandbare lading en of die lading uit PVC houdende producten bestaat.

Voor de schatting van de frequentie van optreden van ongevallen met voertuigen op de openbare weg is gebruik gemaakt van ongevalscijfers met betrekking tot autosnelwegen. Op basis van ongevalscijfers over de periode 1986 t/m 1991 van autosnelwegen van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer en prognosecijfers voor 2010 van het SWOV [4] zijn de volgende ongevalsfrequenties afgeleid:

- Periode 1986 - 1991
 - aantal letselongevallen op autosnelwegen : 8710
 - vervoersprestatie : $1,86 \cdot 10^{11}$
 - letselongevalsfrequentie : $4,7 \cdot 10^{-8}$ vtgkm⁻¹
- Prognose voor 2010, optimistische optie
 - aantal letselongevallen op autosnelwegen met 4 of meer rijstroken : 516
 - vervoersprestatie : $2,03 \cdot 10^{10}$
 - letselongevalsfrequentie : $2,5 \cdot 10^{-8}$ vtgkm⁻¹
 - aantal gewonden per letselongeval : 1,33
 - aantal doden per ongeval : 0,04
- Prognose voor 2010, pessimistische optie
 - aantal letselongevallen op autosnelwegen met 4 of meer rijstroken : 1348
 - vervoersprestatie : $2,03 \cdot 10^{10}$
 - letselongevalsfrequentie : $6,6 \cdot 10^{-8}$ vtgkm⁻¹
 - aantal gewonden per letselongeval : 1,40
 - aantal doden per ongeval : 0,06

In deze studie wordt voor de initiële ongevalsfrequentie de ongevalsfrequentie voor letselongevallen gehanteerd voor de geprognostiseerde situatie in 2010. Hierbij is de pessimistische optie aangehouden: $6,6 \cdot 10^{-8}$ per voertuigkilometer. Deze ongevalsfrequentie geldt voor niet-overdekte wegen.

Voor overdekte weggedeelten wordt op basis van [5] een ongevalsfrequentie gehanteerd die een factor 2,5 hoger is.

Voor de schatting van de kans op brand, gegeven een letselongeval, is gebruik gemaakt van dezelfde verhouding tussen de frequentie van letselongevallen en de frequentie van brand (13% van de letselongevallen). Dit geeft een brandfrequentie van $8,8 \cdot 10^{-9}$ per voertuigkilometer.

Bij de brandfrequentie gaat het in eerste instantie om brand van het voertuig (motor en cabine). Bij vrachtauto's is het daarnaast van belang of de lading brand-

baar is. De statistiek geeft geen informatie omtrent het brandbaar zijn van lading. Geschat is dat in 50% van de gevallen sprake is van een brandbare lading [2].

5.2 Ongevallen met gevaarlijke stoffen

Over de rijksweg A4 vindt transport van gevaarlijke stoffen plaats (voor aantallen, zie paragraaf 2.2). Indien een ongeval plaatsvindt met een vrachtauto zonder dat daarbij een (noemenswaardige) hoeveelheid van de betreffende gevaarlijke stof vrijkomt, wordt dit ongeval beschouwd als een "normaal" ongeval (zie paragraaf 5.2).

In deze paragraaf wordt onderscheid gemaakt naar verschillende categorieën van gevaarlijke stoffen (paragraaf 5.3.1), de verschillende effecten en bijbehorende schade (paragraaf 5.3.2) en de frequentie van de diverse (vervolg)gebeurtenissen (paragraaf 5.3.4). Een bijzonder effect is de gaswolkexplosie dat kan ontstaan bij het vrijkomen van tot vloeistof verdichte brandbare gassen (zie paragraaf 5.3.3).

Er is aangenomen dat ook in het referentiejaar 2010 alle categorieën gevaarlijke stoffen worden getransporteerd over de verdiepte rijksweg A4, inclusief de overdekte- of tunnelgedeelten van het beschouwde deeltraject.

5.2.1 Categorisering transport gevaarlijke stoffen

Over de weg wordt een groot aantal verschillende gevaarlijke stoffen vervoerd. Voor het bepalen van het ongevalsrisico is het van belang inzicht te krijgen in de verschillende vervoerde stoffen, zowel met betrekking tot de frequentie van transport (aantal voertuigen per jaar) als stoftypen.

De gevaarlijke stoffen worden onderscheiden naar de effecten die bij vrijkomen worden verwacht, zo is de volgende onderverdeling in stofcategorieën ontstaan van stoffen die in bulk worden vervoerd:

- brandbare vloeistoffen (b.v. benzine)
- tot vloeistof verdichte brandbare gassen (b.v. LPG)
- toxische vloeistoffen (b.v. acroleïne, acrylonitril)
- tot vloeistof verdichte toxische gassen (b.v. chloor, ammoniak).

Behalve vervoer van gevaarlijke stoffen in bulk worden ook gevaarlijke stoffen in colli vervoerd. Vloeistoffen en vaste stoffen worden vaak vervoerd in drums tot maximaal ca. 200 liter of kg. Gassen worden vervoerd in cilinders (en gasflessen) variërend van < 1 liter tot ca. 50 liter (b.v. waterstof in relatief grote cilinders).

5.2.2 Effecten en schade-afstanden

Voor elk van de stofcategorieën zijn ongevalsscenario's gedefinieerd. Hierin komen de volgende aspecten aan de orde:

- vrijkomen van lading (als gevolg van een ongeval zoals botsing, kantelen e.d.)
- grootte van de uitstroming (bij vloeistoffen)
- continue of instantane uitstroming (bij gassen)
- plasgeometrie (bij vloeistoffen: oppervlak, lengte, breedte)
- vervolgeffecten (brand, dispersie, explosie)
- schade-afstanden.

Voor de keuze van de ongevalsscenario's is aangesloten bij de scenariokeuze in [1] en [2].

5.2.2.1 Brandbare vloeistoffen

Plasgeometrie bij het vrijkomen van brandbare vloeistoffen

Brandbare vloeistoffen worden vervoerd in tankauto's met een capaciteit die varieert van ca. 10 m³ tot ca. 45 m³. De lading is verdeeld over verschillende compartimenten. Voor brandbare vloeistoffen vindt ca. 90% van het vervoer plaats met de grootste tankauto's (40-45 m³) [6], [7]. De kleinere tankwagens (10 en 25 m³) bestaan uit 2 resp. 5 compartimenten van elk ca. 5 m³. De grootste tankwagen heeft 5 compartimenten met inhouden van 3, 5, 9 en 2x 14 m³.

Uit casuïstiek van ongevallen met brandbare vloeistoffen over de periode 1978 - 1986 is afgeleid dat bij ongevallen met tankauto's drie verschillende uitstroombesonderheden (gatgrootten) kunnen worden onderscheiden [8]. De gatgrootten zijn gekoppeld aan een uitstromingsdebiet en -hoeveelheid, waarbij onderscheid wordt gemaakt in:

- gatgrootte 1: uitgestroomde hoeveelheid: $\leq 1 \text{ m}^3$ ($0,0003 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
- gatgrootte 2: uitgestroomde hoeveelheid: $1-10 \text{ m}^3$ ($0,03 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
- gatgrootte 3: uitgestroomde hoeveelheid: $10-30 \text{ m}^3$ ($0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

Bij gatgrootte 1 is de uitgestroomde hoeveelheid zo gering dat geen schade van betekenis wordt verwacht. Dit scenario zal dan ook in het vervolg van de studie niet verder worden beschouwd.

Uit de ongevalscauïstiek is afgeleid dat gatgrootte 3 alleen is opgetreden in die gevallen waarbij tevens sprake was van kantelen van de tankauto.

Bij vrijkomen van brandbare vloeistoffen kunnen in principe de vervolgeffecten brand en explosie worden onderscheiden. Een brand treedt op indien de vrijkomende brandbare vloeistof kort na vrijkomen wordt ontstoken, in dat geval is sprake van een plasbrand en ook brand van de resterende inhoud van de tankwagen. De brand ontstaat als gevolg van ontsteken van de gevormde benzinedamp. Indien de vloeistof niet direct wordt ontstoken dan ontstaat een gaswolk.

Bij uitstromen van vloeistoffen ontstaat een plas. Uit de geometrie van de weg blijkt dat de dwarshelling ca. 1,8% bedraagt, de langshelling varieert over het traject. Voor het schatten van de plasgrootte is gebruik gemaakt van uitstroomproeven die zijn uitgevoerd in de Coentunnel. De Coentunnel heeft een dwarshelling van ca. 1%. Bij vergelijking van de uitstroomproeven van de Beneluxtunnel (dwarshelling 3%) en de Coentunnel geeft de proeven in de Coentunnel aanmerkelijk grotere plasoppervlakken te zien. De grootte van de dwarshelling is dus in grote mate bepalend voor het plasoppervlak.

Op basis van uitstortproeven in de Coentunnel en Beneluxtunnel zijn voor deze studie plasgrootten vastgesteld en samengevat in onderstaande tabel.

langshelling	gatgrootte	plasafmetingen	
		oppervlak (m ²)	l x b (m)
niet-horizontaal	gatgrootte 1	n.v.t.	n.v.t.
	gatgrootte 2	200	5 x 20
	gatgrootte 3	1200	100 x 1,00 60 x 20

Effect: plasbrand

Alternatief 1: open bak

Bij de open bak situatie wordt aangenomen dat 100% van de inzittenden van de voertuigen die in de brandende plas staan overlijdt.

Voertuigen die in de rijstrook staan die direct grenst aan het slootvormig gedeelte van de plas staan op een afstand van ca. 2,20 meter van de plas. In het gedeelte waar sprake is van een slootvormige plas wordt aangenomen dat 10% van de inzittenden van de voertuigen die op de betreffende rijstrook staan overlijdt.

Aangenomen is dat inzittenden van voertuigen die niet in de plas of direct naast de slootvormige plas staan, niet letaal worden getroffen.

Alternatief 2: dodo

Berekeningen voor plasbrand als gevolg van een benzinebrand tonen aan dat de temperatuur in een overdekt gedeelte zo hoog is (ca. 1000-1200 °C) dat over er over de gehele lengte van de overdekte gedeelten (80 meter) sprake zal zijn van 100% letaliteit [2].

Aangenomen is dat personen nog binnen een tijdsduur van 10 seconden kunnen vluchten. Bij een vluchtsnelheid van 1,1 m.s⁻¹ betekent dit dat personen binnen een afstand van ca. 10 meter van een uiteinde van een overdekt gedeelte nog bescherming kunnen zoeken. Hierbij is aangenomen dat de verspreiding van de verbrandingsgassen beperkt blijft tot het overdekte gedeelte waar het ongeval plaats vond.

Alternatief 3: tunnel

Bij een plasbrand in de tunnelsituatie wordt analoog aan de deels-overdekt-deels-open situatie op basis van berekeningen aangenomen dat de temperatuur in het overdekte gedeelte als gevolg van een benzinebrand zo hoog is dat over de gehele

lengte van de file achter het ongeval in de tunnel sprake zal zijn van 100% letaliteit.

Alleen ter plaatse van vluchtdeuren kunnen personen nog vluchten. Ook hier is aangenomen dat personen nog binnen een tijdsduur van 10 seconden kunnen vluchten. Bij een vluchtsnelheid van $1,1 \text{ m.s}^{-1}$ betekent dit dat personen binnen een afstand van ca. 10 meter nog bescherming kunnen zoeken.

Alternatief 4a: luifel

De situatie voor de luifel is vergelijkbaar met de open bak situatie (alternatief 1).

Effect: explosie

Alternatief 1: open bak

De snelheid van verdamping van niet-kokende vloeistoffen (zoals benzine) wordt voornamelijk bepaald door de over strijkende wind.

In de open bak variant is sprake van uitstroming van benzine in verdiept liggende open bak en kan de wind minder gemakkelijk over de vloeistofplas strijken. In de gevallen waar de windrichting gelijk is aan de lengte richting van de weg (in dit geval windrichting noord en zuid). Daarnaast vormen de voertuigen rondom het ongevalspunt ook nog obstakels als het gaat om het overstrijken van de wind.

Bij een windrichting in de langsrichting van de weg is de lengte van de brandbare gaswolk als volgt:

- plasoppervlak 1200 m^2 : 120 meter bij stabiele weersomstandigheden (F1,5)
4 meter bij neutrale weersomstandigheden (D5)
- plasoppervlak 200 m^2 : 11 meter (F1,5)
3 meter (D5)

De weersituatie F1,5 treedt alleen op gedurende de nachtsituatie. In het algemeen mag worden aangenomen dat het vervoer van gevaarlijke stoffen overdag plaatsvindt. Dit betekent dat, bij het vrijkomen van brandbare vloeistoffen, geen significante brandbare gaswolk wordt gevormd.

Bij een windrichting anders dan in de lengte richting van de weg wordt de benzinedamp opgemengd in de bak ter plaatse van het ongeval. Berekeningen tonen aan dat de concentratie van het brandbare damp/luchtmengsel lager is dan de onderexplosiegrens. Ontsteking, anders dan ter hoogte van de plas, wordt daarom niet verwacht.

Alternatief 2: dodo

Voor de mogelijke plasoppervlakken is nagegaan of de verdamping van benzine zodanig is dat in het overdekte gedeelte een brandbaar damp/luchtmengsel kan ontstaan. Voor de overdekte gedeelten wordt aangenomen dat de windsnelheid, veroorzaakt door het rijdend verkeer gedurende 2 minuten na het ongeval gelijk is aan de ventilatiesnelheid bij geforceerde ventilatie in de tunnelsituatie namelijk ca.

3 m.s^{-1} . Indien na 2 minuten de luchtstroming tot stilstand is gekomen dan wordt aangenomen dat de windsnelheid buiten de bak de luchtsnelheid in de bak bepaalt. Bij een windrichting in de langsrichting van de weg is de lengte van de brandbare gaswolk even groot als bij de open bak situatie (alternatief 1). Ook bij de deels-open-deels-overdekte situatie is, bij het vrijkomen van brandbare vloeistoffen, de concentratie van het brandbare damp/luchtmengsel lager dan de onder-explosiegrens. Ontsteking, anders dan ter hoogte van de plas kan dus niet optreden.

Alternatief 3: tunnel

Voor de tunnel, die wordt ingericht volgens de WUT-richtlijnen [9], wordt aangenomen dat door vrijkomen van benzine geen brandbaar damp/luchtmengsel kan ontstaan.

Alternatief 4a: luifel

De situatie voor de luifel is vergelijkbaar met de open bak situatie (alternatief 1).

5.2.2.2 Tot vloeistof verdichte brandbare gassen

Voor de tot vloeistof verdichte brandbare gassen worden twee ongevalsscenario's, met ieder twee varianten beschouwd:

- instantaan vrijkomen van de gehele tankinhoud
Bij instantaan vrijkomen van de tankinhoud worden twee situaties onderscheiden:
 - directe ontsteking, waarbij een BLEVE optreedt, vaak in combinatie met een vuurbal
 - vertraagde ontsteking, waarbij een brandbare gaswolk ontstaat
- continu vrijkomen door bijvoorbeeld pijpbreuk of een gat in de tankwand
Bij continu uitstromen worden twee situatie onderscheiden:
 - directe ontsteking, waarbij een fakkel wordt gevormd
 - vertraagde ontsteking, waarbij net zoals bij een vertraagde ontsteking bij instantaan vrijkomen van een brandbaar gas een brandbare gaswolk ontstaat.

Een vertraagde ontsteking kan zowel bij instantaan als bij continue uitstroming in een explosie van een brandbare gaswolk resulteren. Indien er sprake is van een (gedeeltelijk) opgesloten gaswolk kunnen grote overdrukeffecten ontstaan, met grote schade aan de infrastructuur en de omgeving tot gevolg. In paragraaf 5.3.3 worden deze effecten voor de verschillende alternatieven beschreven. Een uitvoerige beschrijving van gaswolkexplosies is te vinden in bijlage E.

Effect bij instantaan vrijkomen: BLEVE en brandbare gaswolk (directe respectievelijk vertraagde ontsteking)

Alternatief 1: open bak

Bij instantaan vrijkomen en directe ontsteking ontstaat een BLEVE met een straal van 80 meter. Binnen dit gebied is sprake van 100% letaal letsel.

Bij vertraagde ontsteking wordt een gaswolk gevormd met een lengte van 130 meter. Binnen de gaswolk is sprake van 100% letaal letsel. Zie verder paragraaf 5.3.3.

Alternatief 2: dodo

Bij instantaan vrijkomen en directe ontsteking zijn de effecten vergelijkbaar met die van de open bak situatie (alternatief 1).

Bij vertraagde ontsteking ontstaat een gaswolk met een lengte van 175 meter. In deze gaswolk is sprake van 100% letaal letsel. Zie verder paragraaf 5.3.3.

Alternatief 3: tunnel

Bij instantaan vrijkomen wordt de gehele tunnelbuis met gas gevuld. Dit geldt zowel bij continue als bij vertraagde ontsteking. In de gaswolk is sprake van 100% letaal letsel. Voor de schadeberekening wordt aangenomen dat het ongeval plaatsvindt halverwege de tunnelbuis. Zie verder paragraaf 5.3.3.

Alternatief 4a: luifel

De situatie voor de luifel is vrijwel vergelijkbaar met de open bak situatie (alternatief 1). Zie verder paragraaf 5.3.3.

Effect bij continu vrijkomen: fakkel en brandbare gaswolk (directe respectievelijk vertraagde ontsteking)

Alternatief 1: open bak

Bij continue uitstroming en directe ontsteking ontstaat een fakkel met een lengte van 30 meter en is er ter plaatse van de fakkel sprake van 100% letaal letsel.

Bij vertraagde ontsteking ontstaat een gaswolk met een lengte van 230 meter. In deze gaswolk is sprake van 100% letaal letsel.

Alternatief 2: dodo

De situatie bij continue uitstroming en directe ontsteking is gelijk aan de open bak situatie (alternatief 1).

Bij vertraagde ontsteking ontstaat een gaswolk met een lengte van 175 meter. In deze gaswolk is sprake van 100% letaal letsel.

Alternatief 3: tunnel

De situatie bij continue uitstroming en directe ontsteking is gelijk aan de open bak situatie (alternatief 1).

Bij vertraagde ontsteking wordt een gaswolk gevormd over de gehele lengte van de tunnel. In de gaswolk is sprake van 100% letaal letsel. Voor de schadeberekeningen wordt aangenomen dat het ongeval plaatsvindt halverwege de tunnelbuis.

Alternatief 4a: luifel

De situatie voor de luifel is vergelijkbaar met de open bak situatie (alternatief 1).

Transport van brandbare gassen in gasflessen

Het ongevalsscenario dat hier wordt beschouwd gaat uit van het vervoer van propaan in gasflessen. Vrijkomen van gas zal in beginsel plaatsvinden via lekkages of door falen van de omhulling.

Gasflessen worden veelal in pakketten vervoerd bevestigd binnen een stalen frame. Daarnaast is de afsluiter op elke gasfles beschermd door een stalen beschermkap. Een en ander betekent dat een gasfles alleen zal falen door grote externe krachten of als gevolg van een te hoge gasdruk veroorzaakt door opwarming bij brand.

In deze studie wordt aangenomen dat falen van een gasfles optreedt door externe krachten als gevolg van een verkeersongeval. Bij falen door brand is de opwarmperiode van de gasfles zodanig lang dat schade door vrijkomen van het brandbaar gas in vergelijking met de schade door de hete rookgassen verwaarloosbaar is. Daarnaast is de inhoud van de gasfles relatief gering en daardoor ook de schade-omvang in de omgeving.

Om deze redenen wordt dit ongevalsscenario in deze studie niet nader beschouwd.

5.2.2.3 Toxische vloeistoffen

Plasgeometrie bij het vrijkomen van toxische vloeistoffen

Voor het vrijkomen van toxische vloeistoffen worden dezelfde uitgangspunten gehanteerd als voor brandbare vloeistoffen, zie paragraaf 5.3.2.1

Effect: dispersie

Alternatief 1: open bak

Bij het vrijkomen van toxische vloeistoffen kan een toxische damp ontstaan. Analooq aan het vrijkomen van benzine worden ook nu twee gatgrootten en plasgrootten onderscheiden.

De grootste schade-omvang wordt bereikt wanneer deze toxische damp wordt verspreid door wind die in de langsricting van de weg waait. Voor de schadebeke-ningen is bij deze windrichtingen de schadelengte aangehouden van 84 meter met een letselpercentage van 50%.

Indien de wind dwars op de weg staat dan is de opmenging ter plaatse van de plas zodanig dat de concentratie lager is dan de drempelconcentratie voor het optreden van letaal letsel.

Alternatief 2: dodo

De situatie voor de deels-open-deels-overdekte situatie is vergelijkbaar met de open bak situatie (alternatief 1).

Alternatief 3: tunnel

Bij de tunnelsituatie kan onderscheid worden gemaakt tussen starten en niet starten van de ventilatie. Bij starten van de ventilatie bedraagt de windsnelheid ca. 3 m.s^{-1} . De tunneldoorsnede is ca. $22,5 \times 5 = 112,5 \text{ m}^2$. Indien de ventilatie niet wordt gestart dan is in de eerste 2 minuten nog sprake van luchtverplaatsing in de rijrichting als gevolg van het verkeer. De dispersie van de toxische gaswolk vindt dan plaats in de richting van een lege tunnelbuis.

Indien de ventilatie niet wordt gestart is de windsnelheid ter hoogte van de plas minimaal en omdat de verdampingsnelheid door de wind wordt bepaald is ook de verdamping minimaal.

Bij vrijkomen van toxische vloeistoffen in een tunnel wordt aangenomen dat geen letsel zal ontstaan door inhalatie van toxische dampen.

Alternatief 4a: luifel

De situatie voor de luifel is vergelijkbaar met de open bak situatie (alternatief 1).

5.2.2.4 Tot vloeistof verdichte toxische gassen

Toxische gassen worden vervoerd in tankauto's met een capaciteit van maximaal ca. 45 m^3 . De tankauto's zijn niet gecompartmenteerd. Dit betekent dat bij ongevallen waarbij de tank lek raakt de gehele inhoud uitstroomt. Analoog aan de tot vloeistof verdichte brandbare gassen worden voor de tot vloeistof verdichte toxische gassen dezelfde ongevalsscenario's gehanteerd:

- instantaan vrijkomen
Analoog aan [10] wordt voor een continue uitstroming een gatgrootte van 50 mm aangehouden. Effectberekeningen tonen aan dat bij continu vrijkomen van NH_3 uit een 50 mm gat ca. 33 kg.s^{-1} uitstroomt. Deze hoeveelheid verdampt instantaan.
- continue uitstroming
Bij instantaan vrijkomen komt $45 \text{ m}^3 \times 600 \text{ kg.m}^{-3} = 27.000 \text{ kg}$ ammoniak vrij.

Zowel bij het instantaan vrijkomen als het continue vrijkomen van toxische gassen wordt de vrijgekomen stof in de omgeving verspreid (dispersie) en kunnen op de weg en in de omgeving van de weg personen worden blootgesteld aan het toxisch gas. Afhankelijk van de toxiciteit en de concentratie van het gas ontstaat letaliteit.

*Effect: dispersie*Alternatief 1: open bak

De effectberekeningen voor de open bak situatie zijn gebaseerd op de dispersieberekeningen van ammoniak voor de situatie op maaiveld niveau.

Vervolgens is de grootte van de gaswolk vertaald naar de open bak door het wolkvolume constant te houden en de lengte van de gaswolk te berekenen op basis van de wegbreedte (45 meter) en de gemiddelde bakdiepte (4,5 m). Voor de berekening van de schadeomvang is een schadelengte gebruikt die overeenkomt met een letselpercentage van 50%.

Dit geeft een wolklength van 30 meter.

Alternatief 2: dodo

De aanpak van de effectberekeningen is vergelijkbaar met die van de open bak situatie (alternatief 1).

Ook hier is de grootte van de gaswolk vertaald naar de open bak door het wolkvolume constant te houden en de lengte van de gaswolk te berekenen op basis van de wegbreedte (gemiddeld 30 meter) en de gemiddelde bakdiepte (4,5 m). Voor de berekening van de schadeomvang is een schadelengte gebruikt die overeenkomt met een letselpercentage van 50%.

Dit geeft een wolklength van 40 meter.

Alternatief 3: tunnel

Bij een continue uitstroming van toxisch gas in de tunnel kan onderscheid worden gemaakt tussen starten en niet starten van de ventilatie.

Bij starten van de ventilatie wordt de uitstromende ammoniak direct opgemengd met de ventilatielucht.

Het ventilatiesnelheid in de tunnel bedraagt 3 m.s^{-1} . De tunneldoorsnede is ca. $22,5 \times 5 = 112,5 \text{ m}^2$. De ammoniakconcentratie in de tunnelbuis is dan $33 \cdot 10^6 / (3 \times 22,5 \times 5) = 97.780 \text{ mg.m}^{-3}$.

De probit functie van ammoniak is $\text{Pr} = -15,8 + \ln C^2 t$ (C in mg.m^{-3} en t in min).

Volgens de probit treedt letaal letsel op bij blootstelling aan een dosis van $1,05 \cdot 10^8 (\text{mg.m}^{-3})^2 \cdot \text{min}$.

Bij een blootstellingstijd van tenminste 0,5 minuten is sprake van meer dan 90 % letaal letsel onder de blootgestelde personen.

Indien de ventilatie niet wordt gestart dan is in de eerste 2 minuten nog sprake van luchtverplaatsing in de rijrichting als gevolg van het verkeer. In deze tijd wordt de ammoniak over een afstand van 360 meter getransporteerd. Met andere woorden over een afstand van ca. 360 meter is sprake van 100% letaliteit. Nadat de luchtverplaatsing als gevolg van het verkeer in de tunnel tot stilstand is gekomen zal nog luchtverplaatsing kunnen optreden indien sprake is van een windrichting gelijk aan de langsrichting van de tunnel. In deze studie wordt aangenomen dat indien geen geforceerde ventilatie wordt toegepast de verspreiding van ammoniak wordt

bepaald door de uitstroomrichting. Er worden 3 verschillende uitstromingsrichtingen onderscheiden: naar achteren en naar linkerzijkant en de rechterzijde. Elk van de richtingen heeft een gelijke kans op optreden. Dat wil zeggen dat de kans 0,33 bedraagt.

Indien er sprake is van uitstroming naar de zijkant dan wordt aangenomen dat verspreiding van het vrijgekomen gas zowel in de rijrichting als tegen de rijrichting in plaatsvindt.

Bij een uitstroming van 33 kg.s^{-1} duurt de uitstroming circa 650 seconden. Gedurende $650 - 120 = 330$ seconden verspreid de vrijgekomen ammoniak zich in beide richtingen. Aangenomen is dat de tunnelbuis volledig met ammoniak is gevuld en dat er sprake is van 90% letaal letsel door inhalatie van ammoniak. Voor de berekening van de schadeomvang wordt ongevalsplaats halverwege de tunnel gesitueerd.

Bij instantane uitstroming van toxisch gas komt, zoals hierboven beschreven, ca. 27.000 kg ammoniak vrij. Effectberekeningen tonen aan dat in de eerste minuut van het ongeval initieel ca. 9000 kg ammoniak instantaan in dampvorm overgaat. Dit is een gasvolume van ca. 10.400 m^3 .

De doorsnede van de tunnel is $22,5 \times 5 \text{ meter} = 112,5 \text{ m}^2$. Er is aangenomen dat het ammoniakgas zich homogeen opmengt in de tunnel. In de gehele tunnel ontstaat dan een zodanige hoge ammoniakconcentratie dat 90% van de aanwezigen overlijdt. Ook nu wordt aangenomen dat het ongeval plaatsvindt halverwege het gesloten gedeelte.

Alternatief 4a: luifel

De aanpak van de effectberekeningen is vergelijkbaar met die van de open bak situatie (alternatief 1).

Ook hier is de grootte van de gaswolk vertaald naar de open bak door het wolkvolume constant te houden en de lengte van de gaswolk te berekenen op basis van de wegbreedte (45 meter) en de gemiddelde diepte (ca. $4,5 + 1,5 = 6 \text{ m}$). Voor de berekening van de schadeomvang is een schadelengte gebruikt die overeenkomt met een letselpercentage van 50%.

Dit geeft een wolklength van 20 m.

Transport van toxische gassen in gasflessen

Het ongevalsscenario dat hier wordt beschouwd gaat uit van het vervoer van ammoniak in gasflessen. Voor dit type transport geldt eenzelfde scenario als voor het transport van brandbare gassen in gasflessen. Omdat ook de inhoud van een gasfles (voor het transport van toxische gassen) gering is, is de schade-omvang bij een ongeval met dit type transport relatief gering.

Dit ongevalsscenario wordt om deze reden niet verder beschouwd.

5.2.3 Gaswolkexplosies

Ten gevolge van een gaswolkexplosie zal er een schok- danwel drukgolf ontstaan die zich van het explosiecentrum af beweegt en constructies en mensen in de nabije omgeving met een overdruk zullen belasten. Zoals in bijlage E is aangegeven verloopt de gaswolkexplosie, afhankelijk van een open, deels-open-deels-overdekte of gesloten constructie op een andere manier. Dit heeft een direct gevolg voor de effecten en de uitwerking daarvan op de omgeving.

In dit hoofdstuk wordt op een zeer eenvoudige en globale wijze een indruk gegeven van het verschil in uitwerking van een gasexplosie in elk van de alternatieven voor het deeltraject van de A4.

Voor de verschillende alternatieven is de afstand tot aan het explosiecentrum bepaald waarop de druk respectievelijk 80, 35, 15, 5 en 1 kPa bedraagt. De omschrijving van de schadeniveaus die bij deze drukniveaus kan worden aangehouden is als volgt [23]:

- 80 kPa: totale destructie,
- 35 kPa: zware schade,
- 15 kPa: matige schade,
- 5 kPa: lichte schade,
- 1 kPa: ondergrens ruitbreuk.

Alternatief 1: open bak

Vanwege de relatief trage verbranding zal er geen sprake zijn van grootschalige drukeffecten naar de omgeving toe.

Alternatief 2: dodo

Aangenomen wordt dat, vanwege de lengte van 80 meter van de overdekte gedeelten, de explosiedruk zodanig beperkt blijft dat de constructie niet bezwijkt. Tevens wordt ervan uitgegaan dat de afstand van 55 meter (open gedeelten) tussen de overdekte gedeelten voldoende is om de vlamsnelheid tot de oorspronkelijke waarde te reduceren, zodat ook in de navolgende overdekte gedeelten geen detonatie optreedt.

De eerste aanname is gedaan omdat deze limiet door Rijkswaterstaat is geaccepteerd. Het uitgangspunt voor deze limiet wordt echter door de huidige inzichten op gasexplosiegebied niet volledig in alle gevallen onderschreven.

De tweede aanname wordt nog door geen enkel experimenteel noch theoretisch resultaat kwantitatief onderschreven.

Omdat aangenomen wordt dat de constructie van de overdekte gedeelten in tact blijft zal het explosiecentrum voor de bepaling van de blast naar de omgeving bij de constructie-uiteinden liggen.

Door de expansie in deze constructie zal het grootste gedeelte van het brandbaar

mengsel hieruit worden geduwd en juist hierbuiten tot ontbranding komen ¹⁾. Omdat het expansieproces turbulent van aard is zal de externe wolk een hoge initiële turbulentiegraad hebben. De verbranding ervan zal daarbij explosief verlopen.

De overdruk in de omgeving kan worden bepaald met behulp van de Multi-Energie methode [22] door er van uit te gaan dat:

- de explosieve inhoud van de explosie bepaald wordt door de helft van de inhoud van een overdekt gedeelte (centrale ontsteking),
- de begindruk in de externe explosie gelijk is aan die van de explosie in het overdekte gedeelte.

De inhoud van een overdekt gedeelte met een lengte van 80 meter, een breedte van 22 meter (een rijbaan met gas gevuld) en een hoogte van 8 meter bedraagt: 14080 m³. De verbrandingsenergie van een optimaal mengsel van een koolwaterstof in lucht bedraagt gemiddeld 3.5 MJ/m³. De explosie-energie bedraagt zodoende: 24.7 GJ.

Omdat de constructie niet bezwijkt wordt aangenomen dat de maximale druk in de explosie 1.3 bar bedraagt. Uit te rekenen is dan dat de afstanden vanaf het constructie-uiteinde tot aan de plaats waarop een bepaalde overdruk heerst, als volgt zijn:

afstand waarop 80 kPa heerst:	47 m	(39 m),
afstand waarop 35 kPa heerst:	69 m	(57 m),
afstand waarop 15 kPa heerst:	125 m	(104 m),
afstand waarop 5 kPa heerst:	314 m	(259 m),
afstand waarop 1 kPa heerst:	1318 m	(1088 m).

De afstanden dienen uitgezet te worden als de stralen van een cirkel met als middelpunt de uitgang van een overdekt gedeelte.

De getallen tussen haakjes zijn de afstanden voor de situatie waarbij de inwendige hoogte van de overdekte gedeelten verlaagd wordt van 8 naar 4.5 meter.

Alternatief 3: tunnel

Uitgegaan moet worden van een detonatie van al het gas in de tunnelbak, hetgeen zal optreden bij een ontsteking in het tunnelgedeelte.

Voor het bepalen van de explosiedruk in de omgeving dient nu te worden uitgegaan van een lijnexplosie waarvan de blast zich cilindervormig van de bron af beweegt. Dit in tegenstelling tot de puntexplosie waarbij de blast zich bolvormig van de bron af beweegt. Bij een cilindervormige uitbreiding is de geometrische demping minder dan bij een bolvormige zodat de blast daar relatief verder draagt. De bekende blast diagrammen voor TNT equivalentie en Multi-Energie methode

¹⁾ Als de maximale druk in de gesloten constructie 1 bar is, wordt ongeveer 7/8 onverbrand gas naar buiten geduwd. Immers, bij een volledig gesloten tunnel wordt de druk 8 à 10 bar.

modellen zijn alle voor bolvormige uitbreiding en kunnen in principe niet worden toegepast. Een oplossing is om het computerprogramma, waarmee de blastdiagrammen voor de Multi-Energy methode zijn samengesteld, van bolcoördinaten om te schrijven naar cylindercoördinaten. Binnen de lopende opdracht is hiervoor echter geen budget aanwezig.

Een pragmatische oplossing kan gevonden worden in het toepassen van blastdiagrammen voor springstofexplosies met cilindervormige uitbreiding. Deze zijn te vinden in [24].

In [24] worden, voor verschillende lengte/diameter verhoudingen van de springstoflading, blastdiagrammen gegeven. Het blijkt dat op enige afstand van de lading de blastuitbreiding weer bolvormig wordt omdat de invloed van de uiteinden van de lading zich doet gelden. De diagrammen geven dan ook aan met welke factor een vergelijkbare bolvormige lading moet worden vermenigvuldigd om de toename van de blast op kortere afstand te kunnen bepalen. Hoe dichterbij de lading, hoe groter deze factor. De grootste lengte/diameter verhouding waarvoor blastdiagrammen worden gegeven is 1:6.

De gemiddelde factor waarmee voor kleine afstanden een bolvormige lading moet worden vermengvuldigd is twee. Voor grotere lengte/diameter verhoudingen zal deze factor twee ook voor grotere afstanden gelden.

Om toch enig inzicht in de te verwachten blast te kunnen krijgen is de volgende (discutabele) procedure aangehouden.

De verbrandingsenergie van een met gas gevulde rijbaan met een breedte van 22 meter, een hoogte van 8 meter en een lengte van 6 maal de breedte is berekend. Een hoeveelheid TNT is berekend met eenzelfde hoeveelheid energie rekening houdende met een equivalentiecoëfficiënt van 40% (relatief hoge waarde, echter de mate van opsluiting van de gaswolk rechtvaardigt een dergelijke keuze). De invloed van de cilindervormige blastuitbreiding in plaats van de bolvormige wordt in rekening gebracht door uit te gaan van 2 maal de hoeveelheid TNT. Voor het bepalen van de blast als functie van de afstand tot aan de bak van de Rijksweg kan dan het TNT blastdiagram voor oppervlakteexplosies uit [22] worden toegepast. Geen rekening wordt gehouden met het gegeven dat het opbreken van de tunnelconstructie eveneens energie kost. Een percentage daarvoor is zeer moeilijk aan te geven.

De afstanden die bij de aangehouden overdrukken horen zijn:

afstand waarop 80 kPa heerst:	92 m,
afstand waarop 35 kPa heerst:	120 m,
afstand waarop 15 kPa heerst:	265 m,
afstand waarop 5 kPa heerst:	530 m,
afstand waarop 1 kPa heerst:	1927 m.

De afstanden dienen te worden uitgezet loodrecht op de bak van de Rijksweg.

Alternatief 4a: luifel

De situatie voor de luifel is vergelijkbaar met de open bak situatie (alternatief 1).

Alternatief 5: schermenrooster

Een mogelijke constructieve oplossing om te komen tot geluidreductie, waarbij de verdiepte weg toch niet geheel afgesloten is bestaat uit een roosterachtige afdekking waarbij het rooster bestaat uit 2 meter hoge wanden met openingen (roostervakken) van 1 bij 1 meter.

Ondanks het feit dat de aanwezige opening nauwelijks wordt verkleind door het rooster kan toch worden verwacht dat de roosters een versterkend effect zullen hebben op het verloop van de gaswolkexplosie. Uit de beschrijving van het gasexplosiemechanisme blijkt dat turbulentiegenererende obstakels de belangrijkste oorzaak zijn van vlamversnelling en dus van explosiedrukverhoging. De grote openingen in de dakconstructie zonder rooster zorgen ervoor dat de explosie kan worden ontlast zodat de druk beperkt wordt. Bij de expansie van de explosie door het dak zal tevens onverbrand gas door het dak worden geventileerd en buiten de tunnelbak verbranden. Indien door de uitstroming de turbulentie van het gas groot is zal de verbranding van dit gas explosief plaatsvinden. Indien in de uitstroomopening een constructie aanwezig is, zoals het open schermenrooster, die turbulentie opwekt gedurende de expansiestroming, dan wordt de externe verbranding versneld hetgeen de totale explosie zal versterken.

5.2.4 Frequentie van voorkomen

Bij ongevallen met gevaarlijke stoffen worden de volgende deeltkansen onderscheiden:

- kans op vrijkomen gegeven een ongeval
- kans op een relevante uitstroming
- kans op ontsteking (voor brandbare stoffen)

Voor de schade-ontwikkeling is het vervolgens van belang onder welke omstandigheden en op welke locatie het ongeval zich voordoet. Voor de grootte van de schade is bijvoorbeeld filevorming van belang en de mogelijkheid dat het ongeval plaatsvindt op een stijgend, dalend of in een gesloten gedeelte. Daarnaast is het voor de tunnelsituatie van belang of de ventilatie wordt gestart.

Een bijzondere complexe situatie doet zich voor bij een gecombineerd ongeval. Hieronder wordt verstaan een ongeval met filevorming achter het ongevalsvoertuig waarna zich in de file weer een ongeval voordoet.

Voor al deze aspecten is de frequentie en/of de kans van voorkomen bepaald. Deze paragraaf geeft een overzicht hiervan.

Algemeen

Voor ongevallen met gevaarlijke stoffen wordt de in deze studie bepaalde initiële ongevals-frequentie van $6,6 \cdot 10^{-8}$ per voertuigkilometer gehanteerd (prognose voor het jaar 2010).

Voor de schatting van de frequentie van vrijkomen wordt onderscheid gemaakt in ongevallen met druktanks en met atmosferische tanks, conform [10]

Brandbare vloeistoffen en toxische vloeistoffen worden getransporteerd in atmosferische tanks. Tot vloeistof verdichte brandbare en toxische gassen worden in druktanks vervoerd.

Vrijkomen van brandbare vloeistoffen en toxische vloeistoffen

Voor ongevallen met brandbare en toxische vloeistoffen worden de uitstroomkansen gehanteerd conform [10]:

- kans op een relevante uitstroming (gegeven een letselongeval): 0,75
- kans op een kleine plas (gegeven een relevante uitstroming): 0,8
- kans op een grote plas (gegeven een relevante uitstroming): 0,2

Vrijkomen van tot vloeistofverdichte brandbare en toxische gassen

Voor ongevallen met brandbare en toxische gassen worden de uitstroomfrequenties gehanteerd conform [10]:

- kans op een relevante uitstroming (gegeven een letselongeval): 0,3
- kans op een continue uitstroming, (gegeven een relevante uitstroming): 0,35
- kans op een grote plas (gegeven een relevante uitstroming): 0,65

Ontstekingskansen

De vervolgekansen voor ontsteken van een brandbare vloeistof of een brandbaar gas zijn ontleend aan [10].

Voor brandbare vloeistoffen gelden de volgende ontstekingskansen voor zowel grote als kleine plassen:

- kans op directe ontsteking: 0,13
- kans op vertraagde ontsteking: 0,87

Voor tot vloeistof verdichte gassen gelden de volgende ontstekingskansen voor zowel continue uitstroming als het instantaan vrijkomen van het brandbaar gas:

- kans op directe ontsteking: 0,8
- kans op vertraagde ontsteking: 0,2

Bij deze ontstekingskansen wordt opgemerkt dat aangenomen is dat altijd ontsteking zal optreden. Omdat uit ongevalsgegevens blijkt dat niet altijd ontsteking van de vrijgekomen lading plaatsvindt is dit een conservatieve benadering.

5.3 Resultaten deelaspect interne- en externe veiligheid

De resultaten van het deelaspect interne- en externe veiligheid worden gepresenteerd in de vorm van individueel risico en in de vorm van groepsrisico. Dit gebeurt zowel voor de weggebruiker (interne veiligheid) als voor de omwonenden (externe veiligheid).

5.3.1 Interne veiligheid

5.3.1.1 Individueel risico

Het individueel risico voor de weggebruiker wordt uitgedrukt in “verwachtingswaarde”, dit is het gemiddeld aantal slachtoffers per jaar als gevolg van alle verkeersongevallen op het betreffende deeltraject.

In de onderstaande tabellen is een overzicht gegeven van de verwachtingswaarde respectievelijk van de maximale schade-afstand voor de verschillende alternatieven.

ongevalsscenario	1: open bak	2: dodo	3: tunnel	4a: luifel
normaal ongeval	1.90E-01	3.12E-01	3.12E-01	1.90E-01
brand pers. / vrachtauto	1.67E-01	1.67E-01	2.26E-01	1.67E-01
brand vrachtauto-lading	n.v.t	4.50E-02	6.63E-03	n.v.t.
ongevallen gev. stoffen	1.17E-03	3.58E-03	3.16E-03	1.17E-03
tot. verwachtingswaarde	3.58E-01	5.28E-01	5.48E-01	3.58E-01

De ongevalsscenario's resulteren in de open bak (alternatief 1) en de luifel (alternatief 4a) tot hetzelfde aantal slachtoffers onder weggebruikers. De verwachtingswaarde voor deze beide alternatieven zijn dan ook gelijk.

Uit de resultaten blijkt dat de verwachtingswaarde voor deze alternatieven beduidend lager zijn dan de verwachtingswaarde voor de dodo (alternatief 2) en de tunnel (alternatief 3). De verschillen worden voornamelijk veroorzaakt door de verschillen in de initiële ongevalsfrequentie.

Het aandeel vrachtverkeer is 12% van de totale verkeersintensiteit. Hiervan is minder dan 1% transport van gevaarlijke stoffen. Het aantal slachtoffers bij een brand van een vrachtauto plus lading is echter 20 x zo hoog als bij een brand van een auto of een vrachtauto zonder brandbare lading. Het aantal slachtoffers bij een ongeval met gevaarlijke stoffen kan oplopen tot boven de 100. Dit is vooral het

geval bij het continu uitstromen van brandbare gassen die niet direct wordt ontstoken en bij het continu uitstromen van toxische gassen.

Het aandeel van branden van een vrachtauto plus lading aan de verwachtingswaarde is voor de dodo (alternatief 2) bijna 10% en voor de tunnel (alternatief 3) ruim 1%. Dit verschil wordt veroorzaakt door de afwezigheid van geforceerde ventilatie in de dodo situatie.

Het aandeel van ongevallen met gevaarlijke stoffen aan de verwachtingswaarde is voor alle alternatieven ca. 1%.

5.3.1.2 Groepsrisico

Het groepsrisico wordt gepresenteerd in de vorm van F-N krommen, zie bijlage A3. Het oppervlak onder de kromme is gelijk aan de verwachtingswaarde, zie de vorige paragraaf.

Duidelijk is te zien dat de kans op dodelijke slachtoffers, ongeacht het aantal, voor de dodo (alternatief 2) en de tunnel (alternatief 3) hoger is dan voor de overige twee alternatieven.

Vanuit het oogpunt van interne veiligheid (weggebruikers) zijn de open bak (alternatief 1) en de luifel (alternatief 4a) het meest gunstig.

Bij een gaswolkexplosie zal alleen de tunnel bezwijken. Hierbij is wel aangenomen dat 80 meter (lengte van de overdekte gedeelten van de dodo) voldoende is om te voorkomen dat er ongewenst hoge vlamsnelheden optreden.

5.3.2 Externe veiligheid

5.3.2.1 Individueel risico

In bijlage A3 zijn de individueel risico risico-contouren gepresenteerd. Uit de risico-contouren is duidelijk te zien dat het individueel risico voor de omwonenden nagenoeg hetzelfde is voor de open bak (alternatief 1), dodo (alternatief 2) en luifel (alternatief 4a). Het individueel risico voor de tunnel (alternatief 3) is duidelijk hoger. Echter, de norm van een dodelijk slachtoffer gemiddeld eens per 10^6 jaar, wordt nergens bereikt.

5.3.2.2 Groepsrisico

Het groepsrisico voor omwonenden is gepresenteerd in de vorm van F-N krommen, zie bijlage A.3.

Uit deze figuren blijkt dat het groepsrisico voor de omwonenden voor elk van de alternatieven nagenoeg hetzelfde is. In alle gevallen voldoet het groepsrisico zeer ruim aan de norm, minder dan 10 dodelijke slachtoffers eens per 10.000 jaar en minder dan 100 dodelijke slachtoffers eens per 10^6 jaar per km weg (het beschouwde deeltraject heeft een lengte van 1,09 km).

Over de gevolgen van een gaswolkexplosie voor de omgeving kan nog het volgende worden gesteld:

- open bak (alternatief 1)
Er kan geen explosie plaatsvinden van de totale hoeveelheid gas dat zich in de bak bevindt. Indien er lokaal gas opgesloten zit, bijvoorbeeld onder auto's, dan ontstaan zeer lokale explosies die slechts zeer lokale schade kunnen veroorzaken.
- dodo (alternatief 2)
Er kan een explosie ontstaan in de overdekte gedeelten van het alternatief "dodo". Hierdoor zal bij de openingen van deze delen een overdruk ontstaan met schadelijke gevolgen voor de omgeving. De overdrukken hebben *geen* nadelige gevolgen voor de constructie. Hierbij is wel aangenomen dat 80 meter (lengte van de overdekte gedeelten van de dodo) voldoende is om te voorkomen dat er ongewenst hoge vlamsnelheden optreden.
- tunnel (alternatief 3)
Er kan een explosie ontstaan in de tunnel, waardoor de tunnel door overdruk bezwijkt. Over minimaal de lengte van de tunnel zal een overdruk ontstaan met schadelijke gevolgen voor de omgeving. Hierbij worden tevens brokstukken van de tunnel rondgeslingerd. De constructie wordt beschadigd of zelfs volledig vernietigd waardoor verkeer over het deeltraject niet meer mogelijk is.
- luifel (alternatief 4a)
Er kan geen explosie optreden, gezien het relatief grote percentage (ca. 70%) van de constructie boven de weg dat "open" blijft. Zie verder de open bak situatie.
- schermenrooster (alternatief 5)
Het toepassen van het schermenrooster bij de alternatieven open bak of luifel heeft geen merkbaar nadelige gevolgen voor het aspect "explosieveiligheid" daar minimaal 30% van de constructie boven de weg "open" blijft. Bij toepassing in het alternatief dodo ontstaan extra obstakels voor een exploderende gaswolk. De overdrukken zullen hierdoor toenemen. Dit heeft nadelige gevolgen voor de omgeving.

Vanuit het oogpunt van externe veiligheid is de tunnel (alternatief 3) iets minder gunstig dan de overige alternatieven. De externe veiligheid zal echter geen noemenswaardige rol van betekenis spelen in keuze van het alternatief.

5.4 Literatuur bij het deelaspect interne- en externe veiligheid

- [1] C.M.A. Jansen
Schatting van schade-omvang bij ongevallen met gevaarlijke stoffen op overkapte wegen
TNO-MEP, rapport 93-059, Apeldoorn, mei 1993
- [2] C.M.A. Jansen
Vergelijking van de veiligheid voor de weggebruiker van twee varianten van de Westerschelde Oeververvinding
TNO-MEP, rapport R95-182, Apeldoorn, juni 1995
- [3] D.Helleman
Telefax aan TNO, C.M.A. Jansen
Adviesdienst Verkeer en Vervoer, 8 maart 1994
- [4] S.T.M.C. Janssen (SWOV)
Een nieuwe maatstaf voor onveiligheid
Tijdschrift Verkeerskunde, jaargang 41, 1989, nr. 1
- [5] J. Hoeksma
Telefonisch onderhoud met TNO, F.J. Verheij
Bouwdienst Rijkswaterstaat, Utrecht, oktober 1996
- [6] C.M.A. Jansen & L.A.M. Janssen
Handleiding van het van het beslismodel vervoer brandbare vloeistoffen door tunnels of via omleidingen
TNO-MEP, rapport 85-03659, Apeldoorn, oktober 1985
- [7] C.M.A. Jansen
Actualisatie handleiding vervoer brandbare vloeistoffen door tunnels of via omleidingen
TNO-MEP, rapport 90-027, Apeldoorn, maart 1990
- [8] C.M.A. Jansen
Vervoer van brandbare vloeistoffen door tunnels. Detaillering van uistroomhoeveelheid en uitstroomkans en de gevolgen voor het beslismodel
TNO-MEP, rapport 88-040, Apeldoorn, juni 1998
- [9] J. Hoeksma
Richtlijnen vervoer gevaarlijke stoffen door tunnels gelegen in autosnelwegen
Bouwdienst Rijkswaterstaat, WUT 9502 (vervangt WUT 9202), Utrecht, januari 1995

- [10] DNV
Handleiding risicobepalingsmethodiek voor de externe veiligheid met
betrekking tot het vervoer van gevaarlijke stoffen over de weg - eindrapport
DNV Industry, 21041, september 1996
- [11] A.E. Vardy (editor)
Safety in road and rail tunnels
Proc. First International Conference, Basel -Switzerland, November 1992
- [12] J.A. van Aken & L. Twilt
Rookgasproblematiek in verkeerstunnels bij brand
TNO - Centrum voor Brandveiligheid, rapport BI-87-103, Rijswijk, 1987
- [13] Schadeboek
Methoden voor het bepalen van mogelijke schade aan mensen en goederen
door het vrijkomen van gevaarlijke stoffen - eerste druk
Commissie Preventie van Rampen door Gevaarlijke Stoffen CPR 16, Den
Haag, 1990
- [14] F.J. Verheij
Startnotitie Milieu- en veiligheidseffecten verdiepte ligging A4 bij Leiderdorp
- definitieve versie
TNO, bijlage bij brief 16401/112330-27606, Apeldoorn, 6 november 1996
- [15] A.C. van de Berg, J. Schippers, M. Stolp, J. Verhoeff & B.J. Wiekema
Vervoer van gevaarlijke stoffen door tunnels: samenvattend rapport
TNO rapport, G6147-I, 1978
- [16] B.J Wiekema
Vervoer van gevaarlijke stoffen door tunnels: effecten van gasexplosies
TNO rapport, G6147-II, 1978
- [17] C.J.M. van Wingerden & H.G.
The Onderzoek naar de effecten van explosies in overkapte verdiept gelegen
wegen
TNO-PML 1990-C150, mei 1991
- [18] H.G. The & P.C.J. de Bruijn
Onderzoek naar de effecten van een explosie in verdiept gelegen wegen met
(niet-)constructieve afdekking
TNO-PML 1992-C33, juni 1992
- [19] W.E Baker et al
Explosion Hazards and Evaluation
Elsevier, Amsterdam, 1983

- [20] W.P.M. Mercx
Modelling and Experimental Research into Gas Explosions, Overall Final
Report of the MERGE project, CEC contract: STEP-CT-0111(SSMA)
EU-DG-XII, Brussels, December 1994
- [21] W.P.M. Mercx
Extended Modelling and Experimental Research into Gas Explosion,
Summary Report for the project EMERGE, CEC contract: ****
EU-DG-XII, Brussels, in preparation
- [22] CCPS
Guidelines for evaluating the characteristics of vapour cloud explosions, flash
fires and BLEVE's
AIChE, Centre for Chemical Process Safety, New York, 1994
- [23] J. Henrych
The Dynamics of Explosion and Its Use
Elsevier, Amsterdam, 1979
- [24] Baker W.E. et al
A Manual for the Prediction of Blast and Fragment Loading on Structures
Report DOE/TIC-11268, Department of Energy, USA, 1980
- [25] M. Verwoerd et al.
Modelling of crowd evacuations: Data collection and literature review
AEA/TNO-report, CEC EV5V-CT9-0101, Brussels, December 1993
- [26] Brandbeveiligingsconcept onderwijsgebouwen
Ministerie BiZa, directie Brandweer en Rampbestrijding, Den Haag, maart
1994
- [27] R.Taal
Persoonlijke mededeling aan C.M.A. Jansen
Ministerie BiZa, directie Brandweer en Rampbestrijding, Den Haag, 1
december 1994

6. Conclusies en aanbevelingen

In deze studie is een variant van het deeltraject van de rijksweg A4 dat door Leiderdorp loopt onderzocht. Het betreft een verbreding van de bestaande rijksweg, dat in Leiderdorp over een lengte van 1090 m verdiept wordt aangelegd.

TNO heeft voor de milieu-aspecten 'geluidhinder', 'lokale luchtverontreiniging' en 'interne- en externe veiligheid' de effecten in het jaar 2010 (referentiejaar) voor de omgeving en voor het gebruik en beheer van de weg kwantitatief bepaald voor de volgende alternatieven:

1. een open bak, de referentie-situatie
2. een deels-open-deels-overdekte situatie, aangeduid met "dodo"
3. een tunnel
- 4a. een luifel
- 4b. een luifel aangevuld met een geluidscherm in de middenberm
5. een horizontaal geluidschermenrooster als aanvullende voorziening in de alternatieven 1, 2, 4a en 4b.

6.1 Conclusies

De conclusies zijn beschreven per alternatief van het betreffende deeltraject.

Alternatief 1: open bak

De open bak situatie geeft de meeste geluidhinder. Bij een wegdek van dubbel-laags ZOAB varieert de etmaalwaarde van de geluidbelasting van rijksweg A4 op een waarneemhoogte van 5 m tussen 63 en 57 dB(A) (inclusief 3 dB(A) aftrek volgens artikel 103), op afstanden van 50 m tot 100 m uit de wegas.

Ook voor het milieu-aspect lokale luchtverontreiniging is de open bak situatie het minst gunstig, al zijn er slechts (zeer) geringe verschillen met de dodo situatie (alternatief 2) en de luifel situatie (alternatief 4a). Bovendien wordt de grenswaarde voor NO₂ van 135 µg/m³ nergens overschreden. "Slechts" de toetswaarde van 120 µg/m³ zal tot op een afstand van ca. 10 m naast de weg nog voorkomen.

Als het milieu-aspect interne- en externe veiligheid als maatstaf dient, is de open bak situatie, samen met de luifel situatie (alternatief 4a), het meest gunstige alternatief.

Overigens wordt de norm voor de externe veiligheid in geen van de alternatieven overschreden!

Alternatief 2: dodo

Dit alternatief geeft voor het milieu-aspect geluidhinder een iets gunstiger beeld dan de open bak situatie (alternatief 1); de dodo-variant levert ten opzichte van de open bak een reductie van de geluidbelasting van 2 tot 3 dB(A).

Voor het milieu-aspect lokale luchtverontreiniging geeft dit alternatief een vergelijkbaar beeld als de open bak situatie (alternatief 1). Alleen in de directe nabijheid van de overkapte gedeelten is de concentratie van NO₂ iets lager dan naast de open gedeelten.

Het individueel risico voor de weggebruiker is ca. 1,5x zo hoog in vergelijking met dit risico behorend bij de open bak situatie (alternatief 1). Ook het groepsrisico voor de weggebruiker is in de dodo situatie hoger. Voor de externe veiligheid is het verschil met de open bak situatie zeer gering.

Alternatief 3: tunnel

Een weg onder de grond is de oplossing met de minste geluidhinder. Hierbij moeten we wel opmerken dat het overdekte deel van de weg slechts ongeveer 500 m lang is en dat daardoor ook ter hoogte van het midden van de tunnel de bijdragen van de overige wegvakken nog een relevante bijdrage voor de geluidbelasting geven. Als langs dezewegvakken geen geluidschermen worden geplaatst, zal de geluidbelasting op 50 m en 100 m uit de wegas op een hoogte van 5 m boven het maaiveld niet veel lager kunnen worden dan respectievelijk 56 dB(A) en 53 dB(A).

Het individueel risico voor de weggebruiker is in de tunnelsituatie vergelijkbaar met die van de dodo situatie (alternatief 2), al zijn er voor de verschillende ongevalsscenario's wel verschillende waarden berekend. De bijdrage van ongevallen met gevaarlijke stoffen bedraagt ca. 1% van de totale verwachtingswaarde. Dit geldt overigens voor alle alternatieven. Indien een gaswolkexplosie ontstaat, zal de tunnel bezwijken. Dit is bij de andere alternatieven niet het geval! De kans van voorkomen van een gaswolkexplosie is ca. 2,2E-07 per jaar, uitgaande van de te verwachten verkeersintensiteit van het transport gevaarlijke stoffen in het jaar 2010.

Het risico voor de omwonenden is voor de tunnelsituatie groter dan voor de andere alternatieven.

Alternatief 4: luifel zonder (4a) en met (4b) middenbermscherm

De luifel levert een grote bijdrage aan de geluidreductie, met name op relatief korte afstand van de rijksweg. Op 50 m uit de wegas en 5 m boven het maaiveld is de geluidbijdrage van alleen het verdiept gelegen wegvak ongeveer 10 dB(A) lager dan bij toepassing van de open bak situatie (alternatief 1). Nemen we ook de bijdragen van de andere, niet afgeschermdede delen van de A4 mee, dan is het verschil tussen de varianten 4 en 1 respectievelijk 5 dB(A) en 3 dB(A) op afstanden van 50 en 100 m.

Het effect van een scherm in de middenberm is alleen voor het milieu-aspect ge-

luidhinder berekend. De extra bijdrage van dit scherm aan de geluidreductie is beperkt tot maximaal 1 dB(A).

De grenswaarde voor NO₂ wordt nergens overschreden bij de luifel situatie. Vanuit het oogpunt van lokale luchtverontreiniging is deze situatie het meest gunstig.

Voor het milieu-aspect interne- en externe veiligheid zijn geen waarneembare verschillen berekend tussen de luifel situatie en de open bak situatie (alternatief 1).

Alternatief 5: schermenrooster

Het schermenrooster zorgt voor een aanzienlijke extra reductie van het geluid afkomstig van het verdiepte deel van de weg, waar het rooster boven hangt. Deze extra reductie ligt in de orde van 5 dB(A) en is onafhankelijk van het gekozen alternatief (open bak, dodo of luifel) waarbij het rooster wordt toegepast. De bijdragen tot de van de overige delen van de A4 tot de totale geluidbelasting zorgen er echter voor dat het rooster toch de inspanning niet waard kan zijn. Als deze delen niet worden afgeschermd, zal de totale geluidbelasting immers nooit lager worden dan bij de tunnel-variant. In vergelijking met variant 4 geeft het schermenrooster dan slechts een verbetering van ongeveer 2 dB(A) op 50 m en 1 dB(A) op 100 m afstand uit de weg.

Dit alternatief is niet beschouwd voor het milieu-aspect lokale luchtverontreiniging.

Voor wat betreft het milieu-aspect interne- en externe veiligheid is slechts voor het onderdeel gasexplosie gekeken naar dit alternatief. Bij toepassing van het schermenrooster in de dodo situatie (alternatief 2) ontstaan extra obstakels voor een exploderende gaswolk, zodat de overdruk zal toenemen. Dit heeft in dat geval nadelige gevolgen voor de omgeving.

Vergelijking van de alternatieven

Vanuit de TNO-studie gezien, is de luifel situatie (alternatief 4) het meest aantrekkelijke alternatief voor de aanleg van het deeltraject van de rijksweg A4 te Leiderdorp. Toepassing van het horizontaal schermenrooster is alleen zinvol in combinatie met geluidschermen langs de delen van de A4 ten zuiden van de Oude Rijn en ten noorden van de kruising met de Ericaleaan/Mauritssingel.

6.2 Aanbevelingen

Elk van de andere alternatieven heeft specifieke voordelen op een of twee van de onderzochte milieu-aspecten. Er zijn echter vele aspecten die een rol spelen bij de keuze van een alternatief voor de aanleg van een rijksweg. Naast de door TNO onderzochte aspecten zijn dat bijvoorbeeld kosten en inpasbaarheid in de stedelijke omgeving (zie studie Bureau Zandvoort).

Het verdient aanbeveling om dit keuzevraagstuk gestructureerd aan te pakken. Dat vraagt om een volledig en objectief inzicht in alle aspecten die een rol spelen in dit vraagstuk. Het verdient aanbeveling om alle actoren zoveel mogelijk te betrekken in het proces waarin dit vraagstuk wordt opgelost.

Nadat een definitieve keuze is gemaakt, wordt het gedegen bouwtechnisch doorrekenen van de constructie sterk aanbevolen. Dit geldt zeker als gekozen wordt voor de luifel of de dodo omdat er sprake is van een unieke toepassing in Nederland.

7. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland
Ir. N.A. van der Mark en J.J. van Ettinger
Postbus 556
3000 AN Rotterdam

Namen en functies van de projectmedewerkers:

F.J. Verheij
C.J.H. van den Bosch
A.R. Eisses
C.M.A. Jansen
W.P.M. Mercx

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:

-

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

oktober 1996 - april 1997

Ondertekening:

Handwritten signature of F.J. Verheij, consisting of a stylized 'F' and 'V' followed by a horizontal line.

F.J. Verheij
projectleider

Goedgekeurd door:

Handwritten signature of Ir. C.L. van Deelen, featuring a large, stylized 'C' and 'D'.

Ir. C.L. van Deelen
hoofd afdeling Industriële Veiligheid

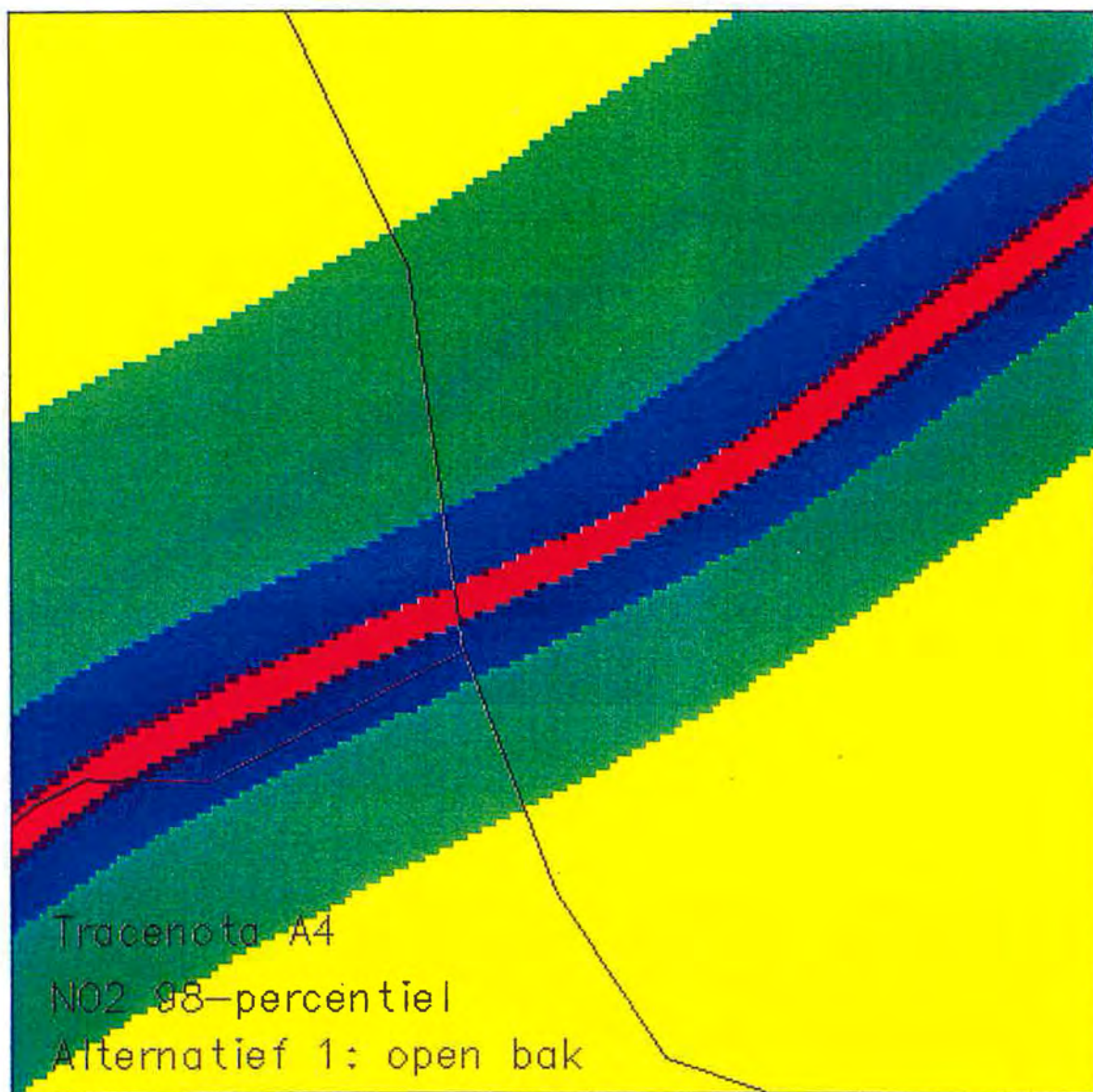
Bijlage A Figuren, resultaat van het TNO-onderzoek

A.1 Geluidcontouren

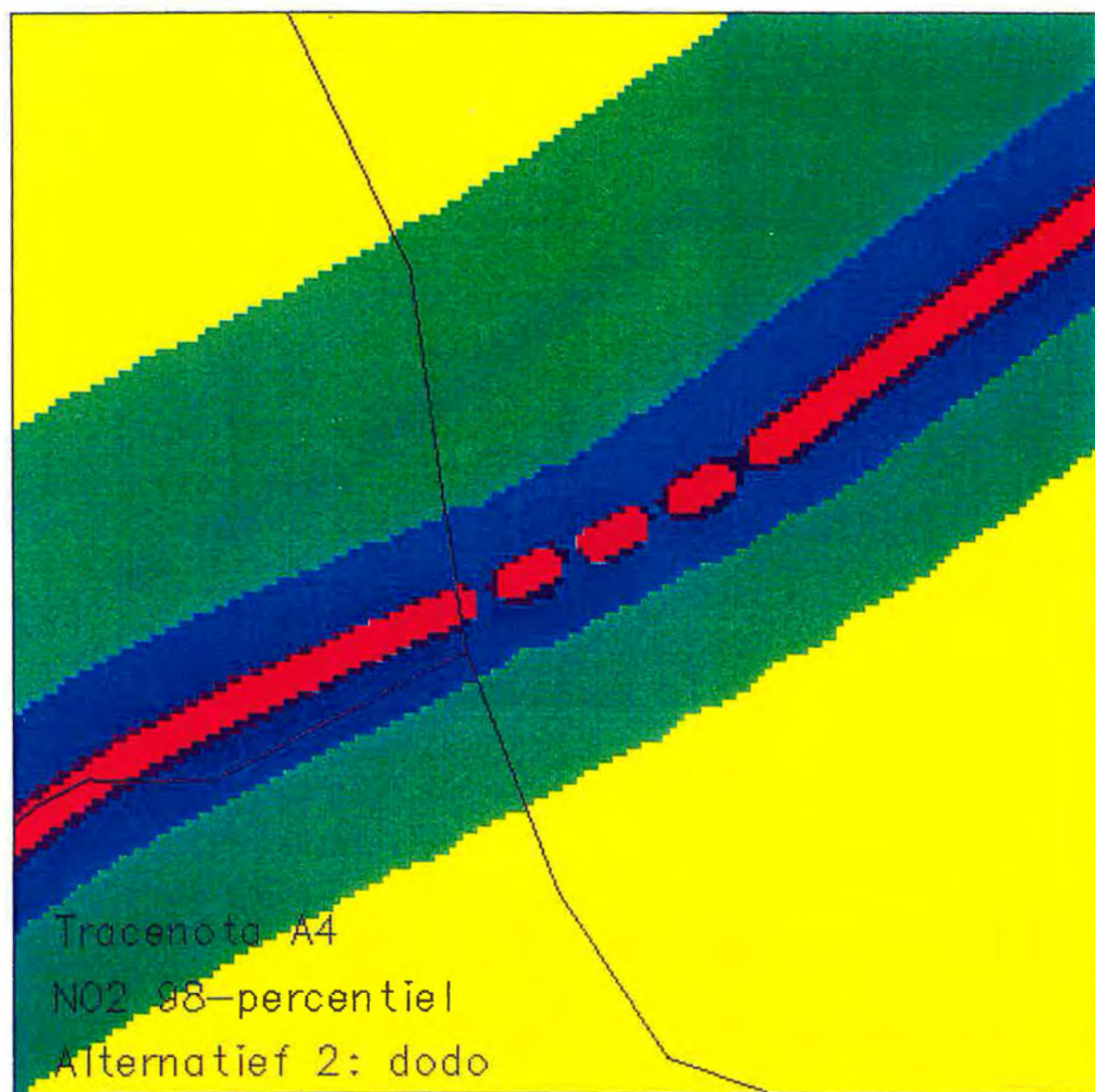
Zie figuur 3.4 t/m 3.7

A.2 NO₂-concentraties in lucht

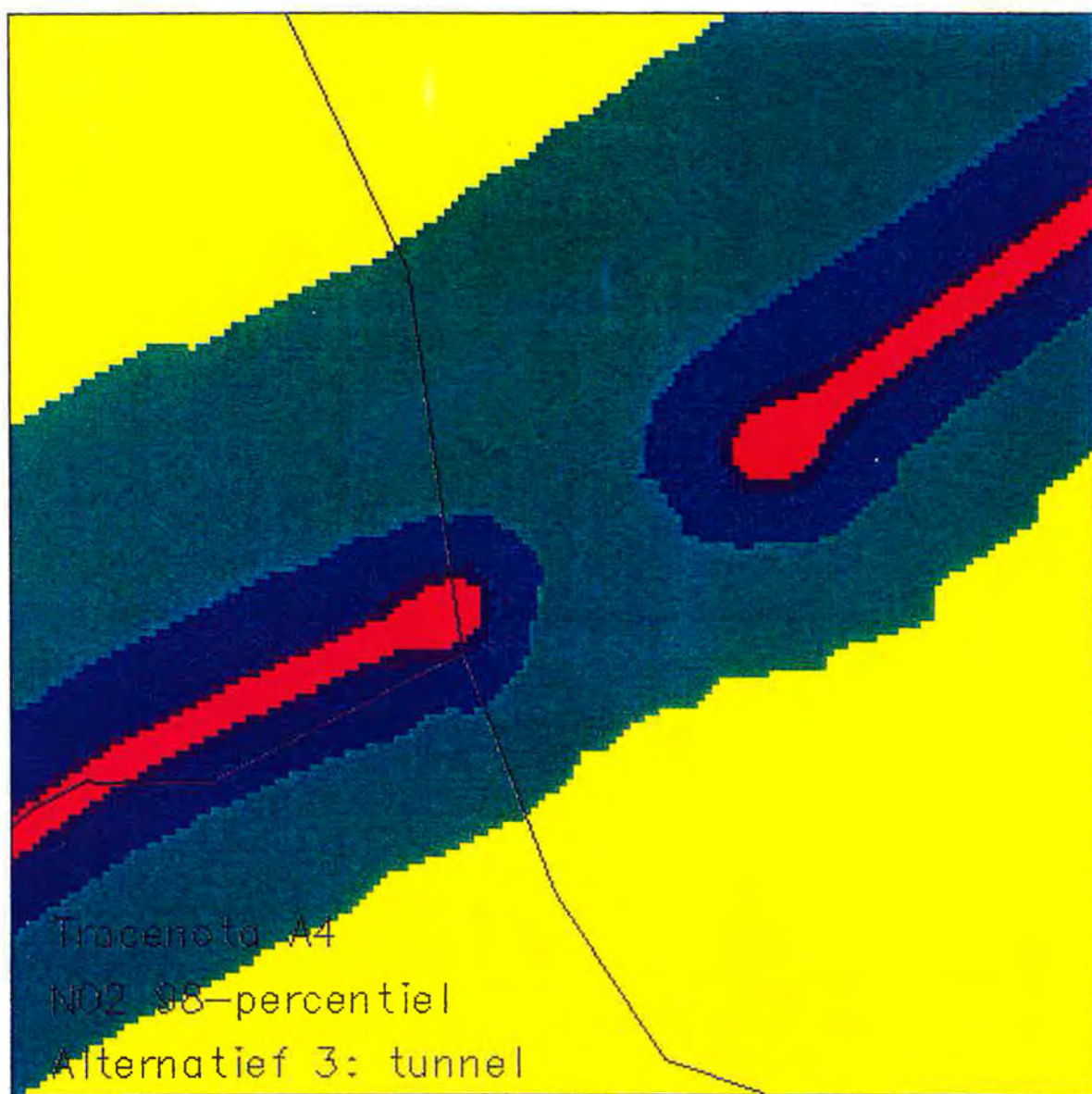
*Figuur A.2.1 Isoconcentratiecontouren van het 98-percentiel van NO₂ voor
alternatief 1 "open bak", bij autonome ontwikkeling voor het jaar 2010.*



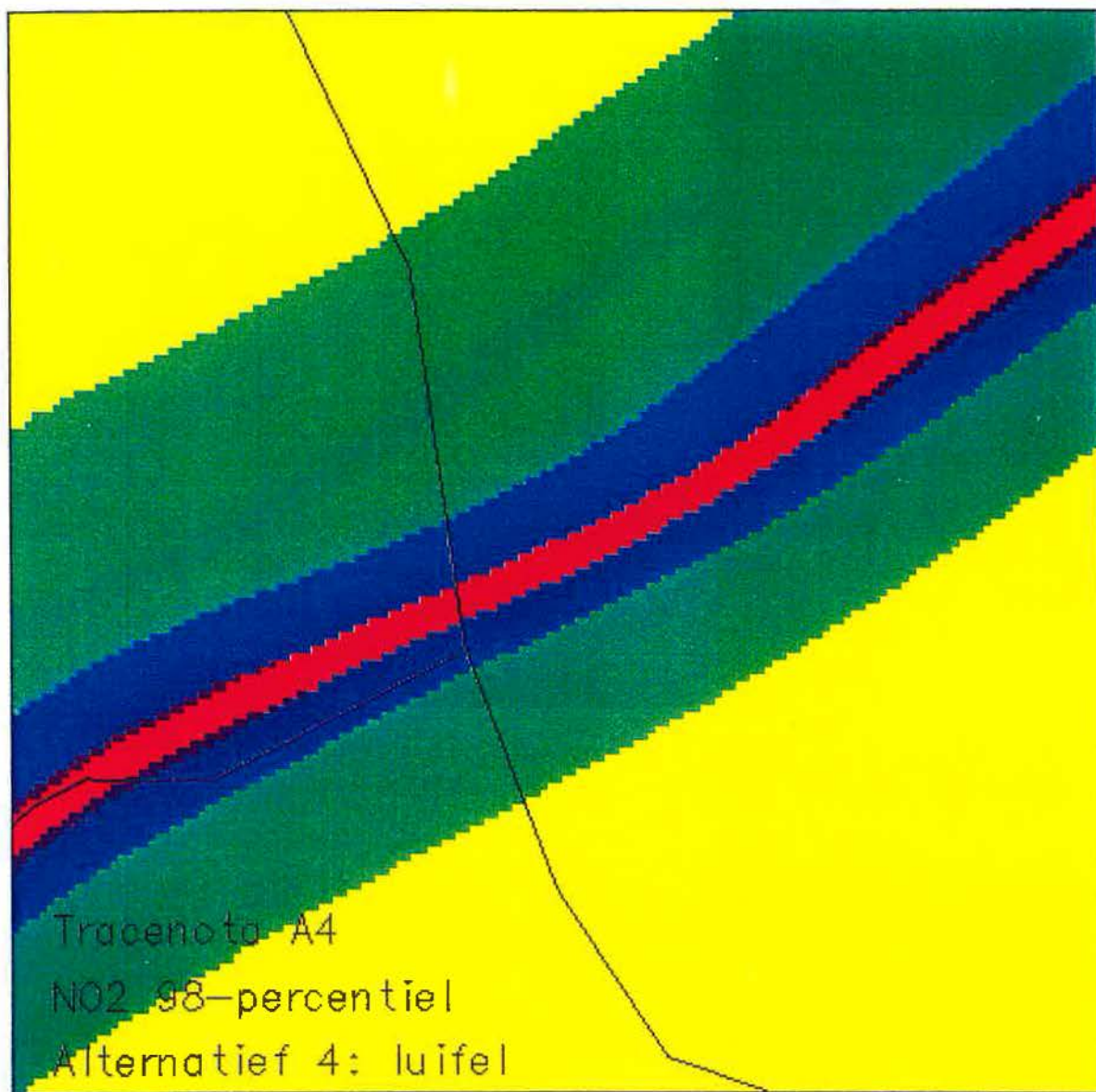
Figuur A.2.2 Isoconcentratiecontouren van het 98-percentiel van NO_2 voor alternatief 2 "dodo", bij autonome ontwikkeling voor het jaar 2010.



Figuur A.2.3 Isoconcentratiecontouren van het 98-percentiel van NO_2 voor het alternatief 3 "tunnel", bij autonome ontwikkeling voor het jaar 2010.



Figuur A.2.4 Isoconcentratiecontouren van het 98-percentiel van NO_2 voor het alternatief 4a "luifel", bij autonome ontwikkeling voor het jaar 2010.



Figuur A.2.5 Legenda behorende bij de isoconcentratiecontouren voor het 98-percentiel van NO_2 .

 > 135 microgram/m³

 $> 120 \leq 135$ microgram/m³

 $> 100 \leq 120$ microgram/m³

 $> 80 \leq 100$ microgram/m³

 ≤ 80 microgram/m³

A.3 Interne- en externe veiligheid

Figuur A3.1 Individueel risico-contouren voor alternatief 1: open bak

GEM. LEIDERDORP

N11

Aansluiting vervalt bij openstelling RWT

BRUG OVER DE

DUDE RIJN

1005-000 KW 35

KW3

QUET OVER N11

ZP -1.20
WP -1.20

1.005-888

ZP -0.90
WP -0.90

Kalkpolder

ZP -1.15
WP -1.15

Munnikkenpolder
-1.55

D o e s

7000.000

2902

oorbaan
iden Atphen

Hobdsstraat

Mauclissinge

Munnikkenwatering

11000.000

10000.000

Perseant-Straatweg

30+0

31+0

32+0

33+0

34+0

35+0

36+0

37+0

38+0

39+0

40+0

41+0

42+0

43+0

44+0

45+0

46+0

47+0

48+0

49+0

50+0

51+0

52+0

53+0

54+0

55+0

56+0

57+0

58+0

59+0

60+0

61+0

62+0

63+0

64+0

65+0

66+0

67+0

68+0

69+0

70+0

71+0

72+0

73+0

74+0

75+0

76+0

77+0

78+0

79+0

80+0

81+0

82+0

83+0

Figuur A3.2 Individueel risico-contouren voor alternatief 2: dodo



Figuur A3.3 Individueel risico-contouren voor alternatief 3: tunnel

GEM. LEIDERDORP

Persant-Straatweg

Munnikenpolder
-1.55

D o e s

7000.000

290

KW3

KW35

OVER DE
DUDE RUN

ZP +1.20
WP -1.20

Munnikenvoering

Mauritsingel

Kalkpolder

ZP -1.45
WP -1.45

ZP -0.90
WP -0.90

Hobdistradi

Hoge Rijndijk

Orbaan
en Alphen

N11

Aansluiting vervatt
bij openstelling RW11

UET OVER N11

12000.000

10000.000

10000.000

10000.000

10000.000

10000.000

11000.000

11000.000

11000.000

11000.000

11000.000

11000.000

11000.000

11000.000

11000.000

11000.000

Figuur A3.4 Individueel risico-contouren voor alternatief 4: luifel

GEM. LEIDERDORP

BRUG OVER DE OUDE RIJN

Mannikenspolder
-1.55

Kalkpolder
-ZP -1.45
WP -1.45

-ZP +1.20
WP -1.20

-ZP -0.90
WP -0.90

N11

Aansluiting, vervatt
bij openstelling RW11

borbaan
den-Alphen

290er
7000.000

D o e s

Munnikkenwatering

Mauritssingel

Hobdistrad

Hoge Rijn

12000.000

1000.000

11000.000

KW3

000.000

30.0

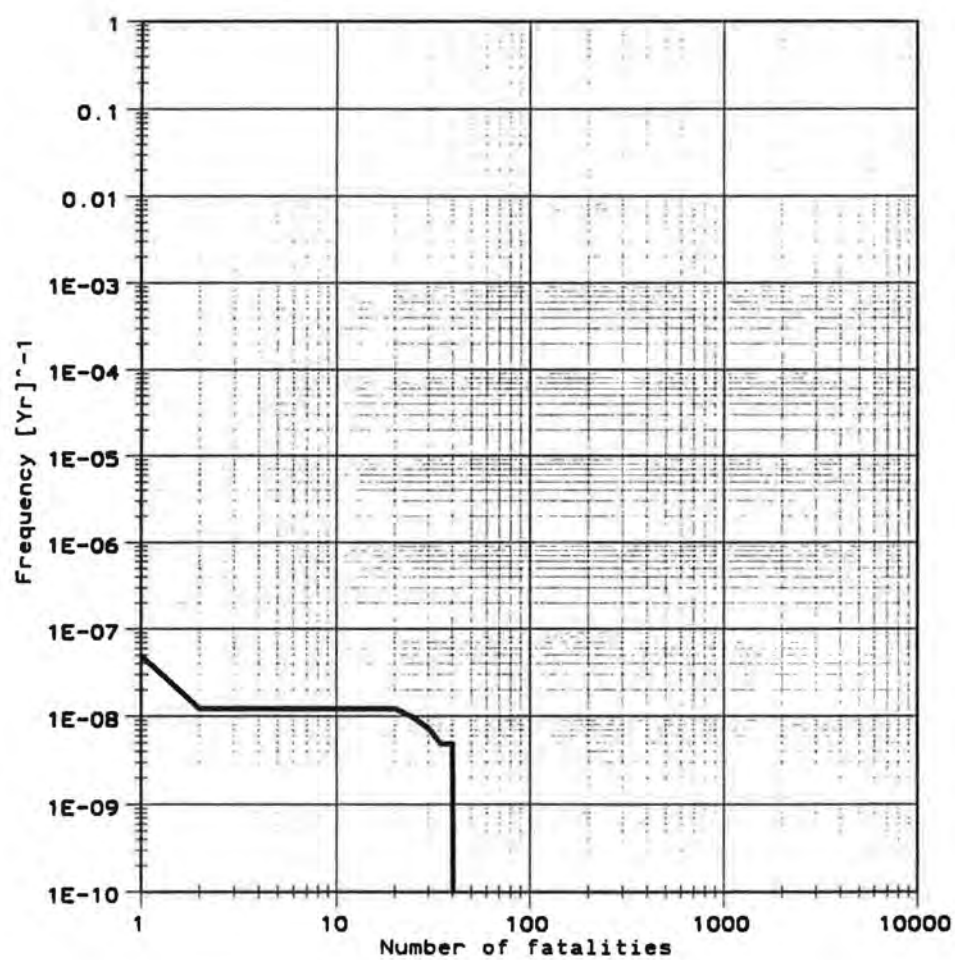
zing
19

BUET OVER N11

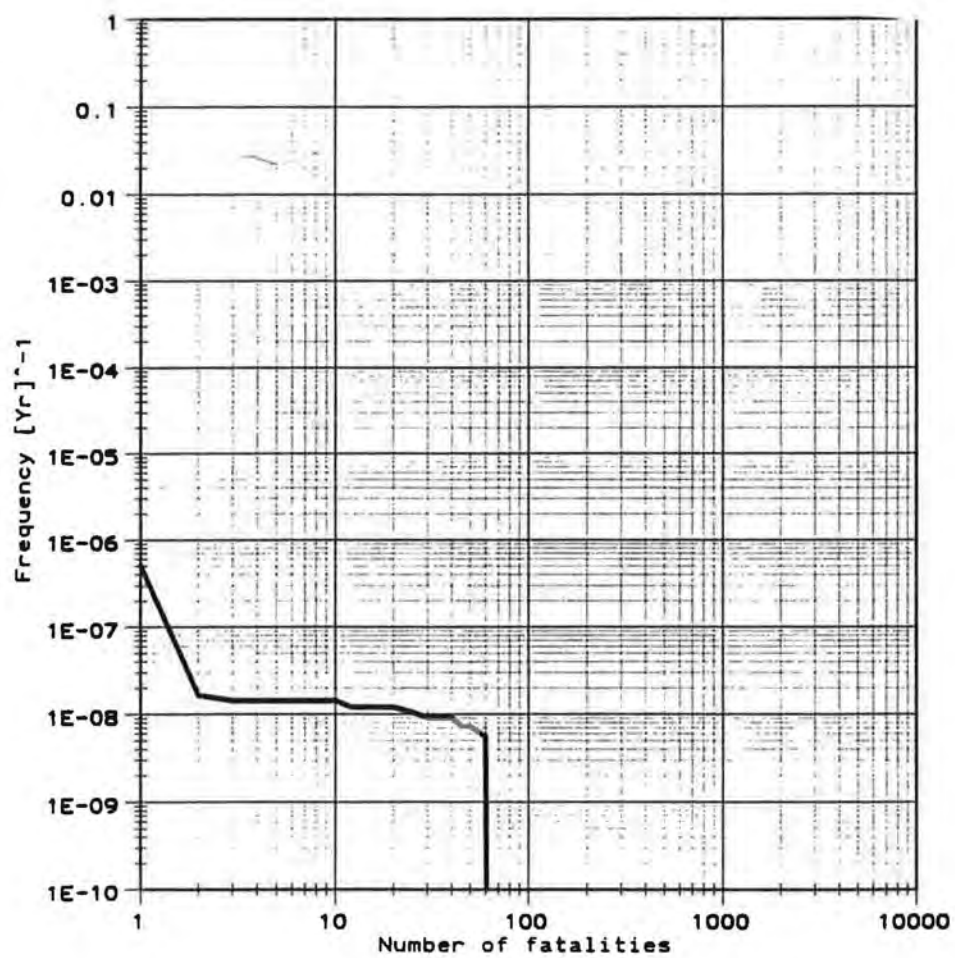
Persant-Smeetsweg

D W A T S I N G

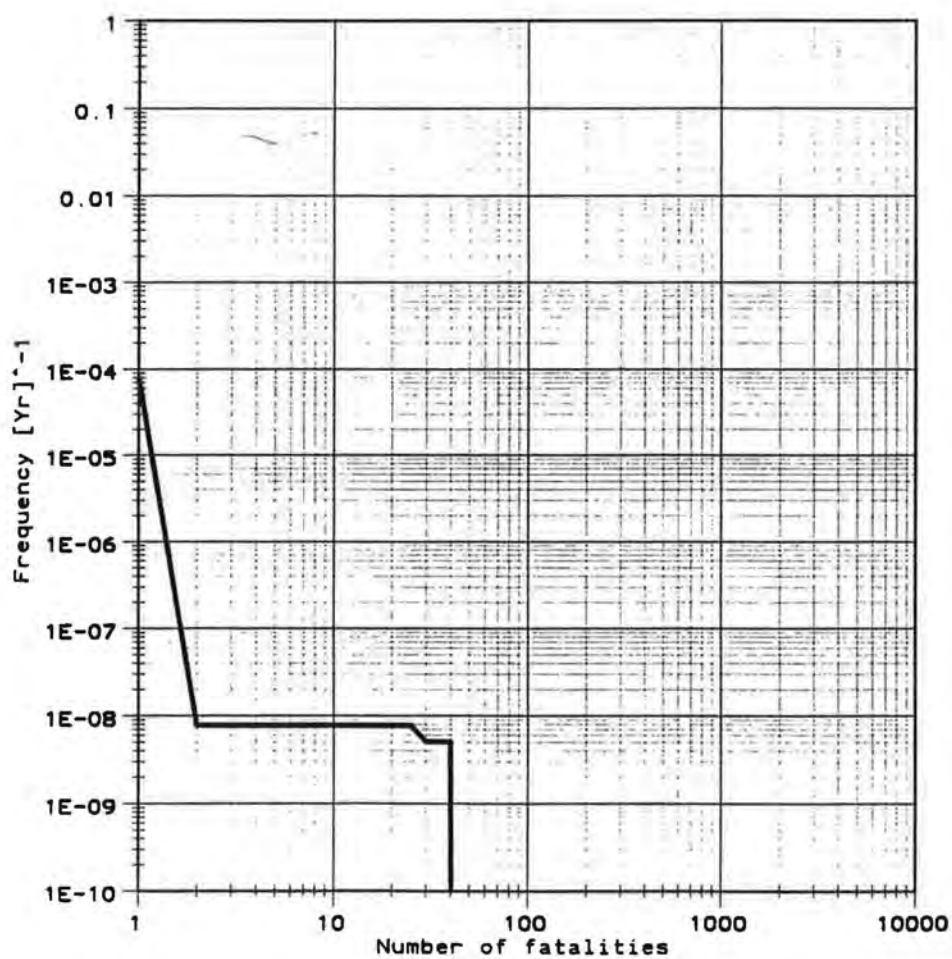
Figuur A3.5 Groepsrisico kromme voor alternatief 1: open bak



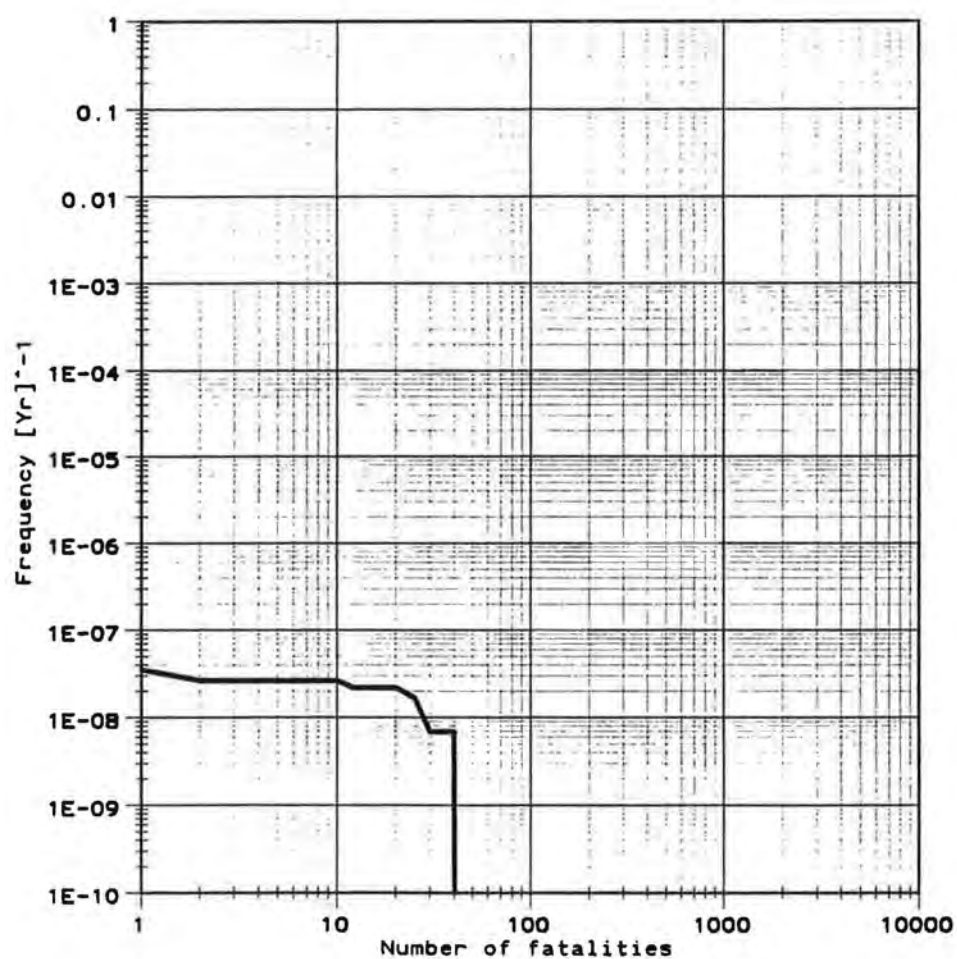
Figuur A3.6 Groepsrisico kromme voor alternatief 2: dodo



Figuur A3.7 Groepsrisicokromme voor alternatief 3: tunnel



Figuur A3.8 Groepsrisico kromme voor alternatief 4: luifel



Bijlage B Berekening geluidbijdragen van diffuse geluidvelden

B.1 Bronsterkte van oppervlakken in de lengterichting van een tunnel of overkapping

Voor de berekening van de geluiduitstraling van het dak van een tunnel of overkapping delen we het oppervlak op in stroken parallel met de weg. Is de breedte b_n (figuur B.1) van een strook klein genoeg ten opzichte van de afstand tot het waarnemingspunt, dan kunnen we de strook beschouwen als een lijnbron, waarvan de bronsterkte L_{wn} gelijk is aan het door het oppervlak afgestraalde geluidvermogen per lengte-eenheid W_{af} . Het afgestraalde vermogen volgt uit het aan de binnenzijde van de overkapping op het oppervlak invallende vermogen W_{in} en de definitie van de geluidisolatie R van het oppervlak

$$R = -10 \lg \frac{\text{afgestraald geluidvermogen } (W_{af})}{\text{invallend geluidvermogen } (W_{in})}$$

Het invallend geluidvermogen berekenen we door het geluidveld binnen de overkapping te splitsen in een "directe" bijdrage en een bijdrage van het galmveld van de zich binnen de overkapping bevindende rijlijnen. De directe bijdrage representeert het geluid van de rijlijnen dat niet tegen het wegdek of tegen de binnenzijde van de overkapping reflecteert en er zonder deze oppervlakken ook zou zijn. Voor de galm-bijdrage gaan we uit van een diffuus geluidveld, waartoe alleen het geluid bijdraagt dat één of meer reflecties heeft ondergaan. Bij één rijlijn met bronsterkte L_{w1} [dB/m] volgt de bronsterkte L_{wn} [dB/m] van het oppervlak uit

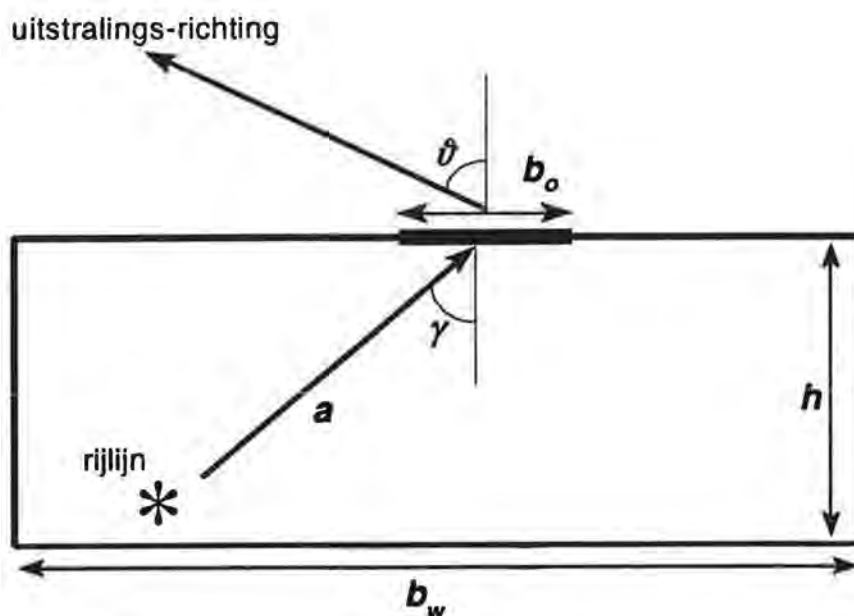
$$L_{wn} = L_{w1} + 10 \lg \left(b_n \left[\frac{\cos \gamma}{2\pi a} + \frac{(1 - \alpha_\Omega)}{\alpha_\Omega \Omega} \right] \right) + DI - R$$

De hoek γ en de afstand a zijn in figuur B.1 aangegeven; Ω is de omtrek langs de binnenzijde van de tunnel (en langs het wegdek, figuur B.1) in de richting loodrecht op de tunnelas en α_Ω de gemiddelde geluidabsorptie-coëfficiënt langs die omtrek. De geluiduitstraling van het oppervlak is maximaal in de richting loodrecht op het oppervlak, dus als de hoek ϑ in figuur B.1 gelijk is aan 0° . Als functie van de uitstralingsrichting ϑ geldt

$$DI = +1 \text{ dB} \quad 0 < \vartheta < 45^\circ$$

$$DI = 6 \lg \left(\frac{90^\circ - \vartheta}{10^\circ} \right) - 3 \text{ dB} \quad 45^\circ < \vartheta < 85^\circ$$

Bovenstaande formules gelden ook voor een open sleuf in het dak van een overkapping, met een geluidisolatie R van 0 dB.



*Figuur B.1 Overkapping van een weg, doorsnede loodrecht op wegas.
Omtrek $\Omega = 2 b_w + 2 h$.*

B.2 Bronsterkte van in- en uitgangen van tunnels en overkappingen

Tunnels en overkappingen worden meestal in berekeningen verwerkt door het tunneltraject geheel weg te laten. De bijdrage van het geluid dat binnen de tunnel ontstaat en via de in- en uitgangen naar buiten komt wordt dan verwaarloosd. Op korte afstanden is dit niet zondermeer toelaatbaar.

Om een schatting te krijgen van het geluid uit de tunnelopeningen veronderstellen we in de tunnel een diffuus geluidveld. Zeker in lange tunnels zonder geluidabsorptie is deze veronderstelling niet geheel juist, omdat het geluidveld midden in de tunnel anders zal zijn dan in de nabijheid van de openingen. Het simpele model blijkt echter goed met metingen in praktijksituaties overeen te komen, vooral als in de tunnel geluidabsorberend materiaal is aangebracht [Wöhner, NCE 39/1992].

Het oppervlak van de opening van een tunnel kunnen we verdelen in een aantal deelvlakken, met oppervlakken S_i , die ten opzichte van de afstand tussen opening en waarneempunt klein genoeg zijn om ieder deelvlak als puntbron te kunnen beschouwen. De bronsterkte L_{wi} [dB] van zo'n puntbron volgt onder de veronder-

stelling van een diffuus geluidveld uit de bronsterkte L_{Wl} [dB/m] van de lijnbron binnen de tunnel volgens

$$L_{W_o} = L_{Wl} + 10 \lg \left(\frac{S_i}{\alpha_\Omega \Omega} \right) + DI$$

Hierin is Ω de omtrek langs de binnenzijde van de tunnel (en langs het wegdek, figuur B.1) in de richting loodrecht op de tunnelas en α_Ω de gemiddelde geluidabsorptie-coëfficiënt langs die omtrek ¹⁾. De richtingsindex DI is in de vorige paragraaf gedefinieerd.

B.3 Bijdrage van diffuus geluidveld door hogere-orde reflecties

In de berekeningen van de geluidoverdracht in een situatie met luifels aan weerszijden van de weg zijn in het rekenmodel TOMAS de geluidstralen die meer dan twee reflecties tegen afschermingen ondergaan niet meer afzonderlijk berekend. De totale bijdrage van deze stralen is ingeschat door het berekenen van het (diffuus veronderstelde) geluidveld van reflecties van 2^e en hogere orde. Beschouwen we het open gedeelte tussen twee luifels als een open sleuf in het dak van een overkapping met geluidisolatie R van 0 dB, dan geldt in plaats van de in B.1 gegeven formule voor de bronsterkte L_{W_o} [dB/m] van de opening:

$$L_{W_o} = L_{Wl} + 10 \lg \frac{b_o (1 - \alpha_\Omega)^2}{\alpha_\Omega \Omega} + DI$$

¹⁾ De absorptie van de opening zelf wordt niet in rekening gebracht. In een sterk galmende tunnel zal deze absorptie ervoor zorgen dat het geluidniveau in de tunnel nabij de openingen lager is dan in het midden. De bronsterkte van de openingen zal hierdoor lager zijn dan in bovenstaande formule.

Bijlage C Berekening van de schadelengten van ongevallen in een tunnelbuis

De referenties waarnaar in deze bijlage verwezen wordt, zijn opgenomen in paragraaf 5.5.

C.1 Inleiding

In deze bijlage worden voor berekening van de schadeomvang onder de weggebruikers als gevolg van ongevallen in een tunnelbuis de volgende scenario's gehanteerd:

1. brand van een personenwagen;
2. brand van een vrachtauto (cabine);
3. brand van een vrachtauto (lading, geen PVC produkten);
4. brand van een vrachtauto (lading, PVC produkten);
5. brand van een benzinetankauto en plasbrand.

In eerste instantie wordt nagegaan welke schade kan ontstaan onder weggebruikers door blootstelling aan hete verbrandingsgassen. Ook is nagegaan in hoeverre verbrandingsprodukten als HCl en CO van belang kunnen zijn. Vervolgens wordt voor de verschillende brandscenario's de schadelengte bepaald en de mate van letaal letsel geschat daarna wordt de methodiek voor de schadeberekeningen uiteengezet.

C.2 Schadelengten

C.2.1 Schadelengte door hete verbrandingsgassen

Voor de berekening van de schade als gevolg van blootstelling aan hete verbrandingsgassen wordt gebruik gemaakt van gegevens uit [11].

In [11, blz. 239..253] wordt gesteld dat tot een luchttemperatuur van ca. 60°C geen letaal letsel optreedt en dat bij een luchttemperatuur van 200°C sprake is van 100% letaal letsel.

Voor tussenliggende temperatuurwaarden geldt de volgende relatie tussen blootstellingstijd (t in seconden) en temperatuur (T, in K):

$$\text{letselfractie} = dt/60.\exp(5,12 - 0,0273 (T-273)).$$

In tabel C.1 is de relatie tussen de blootstellingstijd en de rookgastemperaturen verder uitgewerkt.

Tabel C.1 Overzicht van de relatie tussen rookgastemperatuur en percentage letaal letsel.

tijdsduur [min]	percentage letaal letsel bij verschillende temperatuur		
	100°C	150°C	190°C
10 seconden	1,5	6	17
30 seconden	5	16	50
50 seconden	7,5	30	80
1	9	33	100
2	17	67	100
5	43	100	100
10	86	100	100
20	100	100	100

In deze studie zal worden uitgegaan van 100% letaal letsel voor luchttemperaturen van 200°C en hoger. Voor temperaturen tot circa 50°C wordt geen letaal letsel verondersteld. Voor tussenliggende waarden wordt tabel C.1 toegepast.

C.2.2 Schadelengte door brand bij ‘normale’ ongevallen

Personenauto

In [12] is de rookgastemperatuur in de tunnel als functie van de afstand gegeven en weergegeven in figuur 1. De berekening van de temperatuur is gebaseerd op een computer rekenprogramma waarbij rekening wordt gehouden met opmenging met koude omgevingslucht als gevolg van de ventilatie en de warmteafgifte naar tunneldak en tunnelwanden

Uit de figuur blijkt dat de maximale rookgastemperatuur 200 °C bedraagt. Deze temperatuur daalt binnen 75 meter naar ca. 40°C.

Zoals aangegeven, is bij een temperatuur van 200°C sprake van 100% letaliteit en kan een temperatuur van ca. 45°C nog juist gedurende langere tijd (ca. 1 uur) worden verdragen.

Uit bovenstaande wordt geconcludeerd dat bij een brand van een personenauto personen letaal kunnen worden getroffen op een afstand minder dan ca. 50 meter vanaf de brand. Het letaliteits percentage (op basis van de rookgastemperatuur) daalt binnen 50 meter van 100% naar 0% letsel.

Bij brand van een personenauto zal, bij niet starten van de tunnelventilatie, stratificatie van de verbrandingsgassen optreden waardoor voornamelijk ter hoogte van het tunneldak de genoemde temperaturen zullen optreden. Dit geeft de aanwezigen de gelegenheid om nog te kunnen vluchten.

Aangenomen wordt dat valide personen op tijd kunnen vluchten. Voor minder validen wordt aangenomen dat 50% letaal wordt getroffen. Het percentage minder validen wordt geschat op 5%.

Bij ventilatie wordt aangenomen dat door de opmenging met relatief koude lucht de schadelengte wordt gereduceerd 25 meter. In dit geval wordt 100% letaal letsel onder minder validen verondersteld.

Vrachtauto, exclusief lading

De schade aan een cabine van een vrachtauto ten gevolge van brand wordt gelijkgesteld aan de schade ten gevolge van brand van een personenauto (zie tabel C.2).

Tabel C.2 Overzicht van de schadeomvang bij brand van personenauto's en vrachtauto's (exclusief lading).

situatie	situatie en schadeomvang [slachtoffers]
brand personenauto of vrachtauto (excl. lading)	file achter ongeval ventilatie: $0,5 \times 1,40 = 0,70$ geen ventilatie: $0,5 \times 38,4 \times 1,66 \times 5\% \times 50\% = 0,80$

Vrachtauto, inclusief lading (niet PVC-houdend)

In [8] is de rookgastemperatuur in de tunnel als functie van de afstand gegeven voor brand van een vrachtauto en weergegeven in figuur 1.

Uit figuur 1 blijkt dat bij een brand van een vrachtauto de temperatuur in de tunnelbuis binnen 100 meter daalt van circa 700°C naar ca. 190°C en blijft dan constant tot een afstand van 250 m.

Met het oog op de gehanteerde schadecriteria (zie tabel 2.1) wordt aangenomen dat afhankelijk van de vluchtafstand, en dus vluchtsnelheid, een bepaald aantal mensen letaal letsel kan oplopen.

De afstand waarover de temperatuur is berekend is beperkt tot 250 meter. De figuur laat zien dat de temperatuur over het traject van 100 - 250 meter nauwelijks daalt. Aangenomen wordt nu dat de temperatuur ook over het traject 250 - 500 meter niet significant zal dalen. Deze schadelengte (500 meter) is gelijk aan de maximale lengte van de file.

In het navolgende is de schadeomvang berekend die optreedt bij een brand van een vrachtauto inclusief lading.

Vrachtauto, inclusief lading (PVC houdend)

Naast de hete rookgassen bevat een brand van een PVC houdende lading ook het verbrandingsprodukt HCl.

Volgens [13] ontstaat per kilogram verbrand produkt 0,584 kg HCl.

Het ladingoppervlak van een vrachtauto wordt geschat op $15 \times 2,50 = 37,5 \text{ m}^2$.

De brandsnelheid voor kunststoffen bedraagt volgens [9] $0,025 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Dit betekent bij een ladingbrand van PVC houdende produkten een bronsterkte van $0,025 \times 37,5 \times 0,584 = 0,548 \text{ kg HCl} \cdot \text{s}^{-1}$.

De concentratie in een tunnelbuis kan nu worden bepaald op basis van deze bronsterkte en het ventilatiedebiet. Een luchtsnelheid van $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ en een effectieve tunneldoorsnede van 90 m^2 resulteert in een concentratie van $2030 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$.

De drempelwaarde voor letaliteit als gevolg van blootstelling aan HCl wordt bepaald op basis van een kwetsbaarheidsmodel van HCl uit [13].

$$Pr = -6,7 + \ln(C \cdot t) \quad (C \text{ in } \text{mg} \cdot \text{m}^{-3}, t \text{ in minuten})$$

In tabel C.3 is een overzicht gegeven van een aantal concentraties voor een aantal karakteristieke letaliteitspercentages en verschillende blootstellingstijden.

Tabel C.3 Overzicht van letaliteitspercentages als functie van concentraties en blootstellingstijd.

blootstellingstijd [min]	concentraties in $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ bij verschillende letaliteitspercentages		
	1%	10%	50%
2	5.9	16.8	60.3
5	2.3	6.7	24.1
10	1.2	3.4	12.1
15	0.78	2.2	8.0
20	0.59	1.7	6.0
30	0.40	1.2	4.0

Bij vergelijking van de berekende maximale HCl concentraties in de tunnelbuis, de concentraties uit de tabel en een blootstellingstijd van maximaal ca. 5 minuten volgt dat maximaal ca. 1% letaal letsel kan optreden. Bij langere blootstellingstijden is sprake van letaal letsel door de bij de brand gevormde hete verbrandingsgassen.

Uit het voorgaande wordt geconcludeerd dat de bijdrage aan de schadeomvang door HCl kan worden verwaarloosd.

Invloed op de schade in de tunnelbuis door de vorming van CO bij brand

Bij elke brand wordt in meer of mindere mate CO gevormd. Naarmate de toetreding van zuurstof moeilijker wordt zal de toename van de vorming van CO toenemen.

Verwacht wordt dat de bijdrage aan de schadeomvang in de tunnel door blootstelling aan CO relatief gering zal zijn, dit door met name door het gegeven dat de vorming van CO voornamelijk zal optreden bij grote branden. Omdat juist dan de luchttoevoer bemoeilijkt wordt en de CO vorming wordt bevorderd. Bij grote branden treden hoge rookgastemperaturen op en juist door deze hoge temperaturen wordt de schade veroorzaakt.

De bijdrage van CO aan de schadeomvang in de tunnel wordt op basis van de bovenstaande aspecten verwaarloosd.

C.2.3 Schadelengte bij brand van een benzinetankauto

Voor het bepalen van de schadelengte als gevolg van vrijkomen van benzine wordt aangenomen dat de uitgestroomde hoeveelheid ca. 1 - 10 m³ bedraagt [8].

Bij uitstroming van benzine ontstaat een vloeistofplas. Voor de schatting van de grootte van de vloeistofplas is gebruik gemaakt van uitstroomprouwen uitgevoerd in Coentunnel.

In de Coentunnel zijn vijf proeven uitgevoerd waarvan de resultaten hieronder zijn samengevat:

1. uitstroomdebiet 4,0 m³.s⁻¹ : plasoppervlak 1275 m² ($\approx$ gatgrootte 3: instantaan vrijkomen, groot gat (breedte van de plas ca. 8,5 meter en lengte 150 meter))
2. uitstroomdebiet 3,2 m³.s⁻¹ : plasoppervlak 1275 m² ($\approx$ gatgrootte 3: instantaan vrijkomen, groot gat)
3. uitstroomdebiet 0,09 m³.s⁻¹ : plasoppervlak 1145 m² ($>$ gatgrootte 2 en $<$ gatgrootte 3)
4. uitstroomdebiet 0,04 m³.s⁻¹ : plasoppervlak 490 m² ($\approx$ gatgrootte 2). Ter plaatse van de uitstroming $L_{\text{plas}} = 18$ m (over de gehele breedte) en een slootvormige plas van ca. 190 meter en weer een plas van ca. 18 meter lang (over de gehele breedte).
5. uitstroomdebiet 0,025 m³.s⁻¹ : plasoppervlak 75 m². ($\approx$ gatgrootte 2), voornamelijk een slootvormige plas van $l = 90$ en $b = 0,80$ meter ter plaatse van het diepste gedeelte van de tunnel.

Aan de hand van deze uitstort proeven zijn voor de onderhavige studie de volgende plasafmetingen en plasmvormen afgeleid voor een dalen of stijgend gedeelte:

- gatgrootte 2
voor het plasoppervlak is het meetkundig gemiddelde van de plasoppervlakken bij een uitstroming van 0,025 en 0,04 m³.s⁻¹, resp. 490 m² en 75 m² gehanteerd. Dit geeft een plasoppervlak van 190 m².
De vorm van de plas is als volgt: ter hoogte van het ongevalspunt lengte plas 5 en breedte 20 m. Vervolgens een slootvormige plas met een breedte van 0,80 m en een lengte van 110 meter.
- gatgrootte 3
gemiddelde plasgrootte 1200 m². De plas heeft een lengte van 57 meter en een breedte van 20 meter (overeenkomend met de maximale breedte van de rijbaan).

In [12] is met behulp van een computermodel de temperatuur in de tunnelbuis berekend uitgaande van een benzinebrand en weergegeven in figuur C.1.

De figuur laat zien dat de temperatuur in de tunnelbuis als gevolg van een benzinebrand zo hoog is dat, volgens de relatie tussen luchttemperatuur en letaal letselper-

centage in tabel C.1, over een lengte van tenminste 250 meter sprake zal zijn van 100% letaliteit. Omdat de berekeningen beperkt waren tot een afstand van 250 meter moet voor grotere afstanden een schatting worden gedaan. Gelet op de hoogte van de temperatuur en de relatief geringe daling van de temperatuur, wordt geconcludeerd dat de temperatuur in de gehele tunnelbuis hoger zal zijn dan 200°C. Gelet op het schadecriterium (100% letaal letsel bij temperaturen $\geq 200^\circ\text{C}$) wordt voor de gehele tunnelbuis aangenomen dat alle aanwezigen letaal zullen worden getroffen. Uitzondering hierop vormt de locatie ter hoogte van de vluchtdeuren. Hiervoor wordt aangenomen dat, met het oog op de hoge luchttemperatuur, binnen een tijdsduur van 10 seconden nog mensen kunnen vluchten. Dit betekent dat personen binnen een afstand van 10 meter aan weerszijden van een vluchtdeur zich tijdig in veiligheid kunnen brengen.

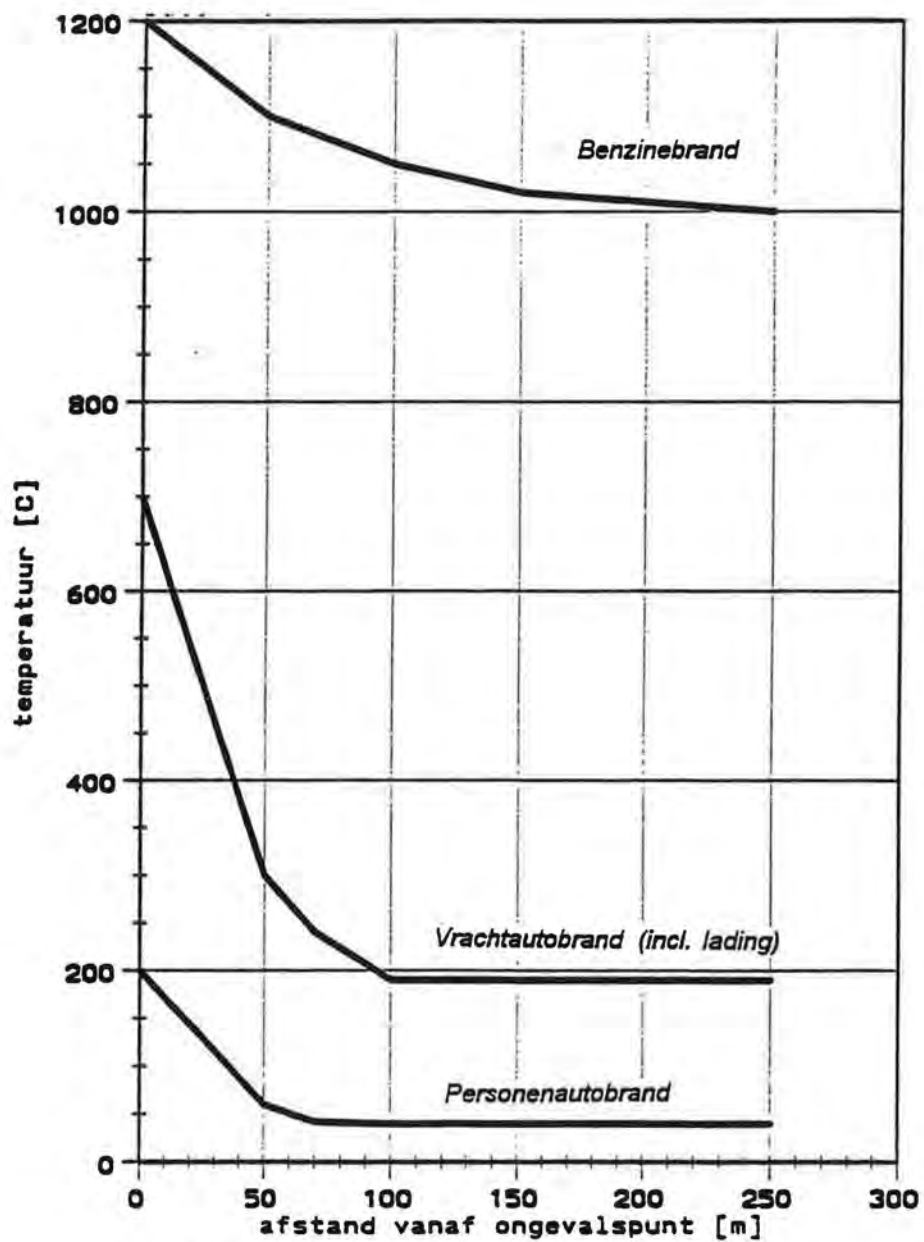
C.2.4 Schadelengte bij vrijkomen van toxisch gas (bij gasflessen transport)

Toxisch gas komt vrij als gevolg van falen van een gasfles door de externe krachten bij een ongeval. Aangenomen is dat de inhoud van een gasfles (ca. 50 kg) instantaan vrijkomt.

Omdat het gas tijdens het ongeval vrijkomt wordt het direct in de rijrichting gedispergeerd.

Intoxicatie is alleen van belang bij een file voor het ongeval. Met het oog op de relatief geringe kans op voorkomen is deze situatie hier niet beschouwd.

Figuur 1 *Temperatuur als functie van de afstand voor verschillende ongevalstypen.*



Bijlage D Berekening van de vluchtsnelheid

De referenties waarnaar in deze bijlage verwezen wordt, zijn opgenomen in paragraaf 5.5.

D.1 Inleiding

Voor de bepaling van de schadeomvang in een tunnel bij brandsituaties dient rekening te worden gehouden met de mogelijkheid dat vluchten via vluchtdeuren mogelijk is.

Om te kunnen bepalen of vluchten mogelijk is zijn twee aspecten van belang: de vluchtafstand en de vluchtsnelheid. De vluchtafstand is afhankelijk van de afstand van de persoon tot de vluchtdeur. Voor het schatten van de vluchtsnelheid is gebruik gemaakt van verschillende bronnen [25] en [26]. Beide worden hieronder nader uitgewerkt.

D.2 Berekening van de vluchtsnelheid

D.2.1 Berekening volgens AEA & TNO

De schadeomvang als gevolg van normale ongevallen met brand is afhankelijk van de grootte van de brand (personenauto of vrachtauto), de verkeerssituatie (file voor en achter de ongevalsplaats), starten van de tunnelventilatie, afstand tot de vluchtdeur(en), snelheid van ontruimen van de tunnelbuis, locatie in de tunnel ten opzichte van in- en uitgang.

Met betrekking tot de ontruiming van de tunnelbuis is van belang de parameters die van belang zijn bij ontruiming te inventariseren. In [25] is een model beschreven aan de hand waarvan inzichtelijk wordt gemaakt in hoeverre de ontruimingsnelheid van een gebied afhangt van de grootte van de vluchtwegen en de persoonendichtheid. In [25] wordt daarnaast onderscheid gemaakt naar ontruimingssnelheid voor horizontale, stijgende en dalende vluchtwegen en via deuren.

De basisvergelijking voor de snelheid op een horizontaal vlak is:

$$v = 1/60 [112D^4 - 380D^3 + 434D^2 - 217D + 57] \quad (1)$$

Hierin is:

$$\begin{aligned} v &= \text{snelheid in m/s} \\ D &= \text{dimensieloze dichtheid} \\ D &= N \cdot (f_i / * \cdot l \text{ [m}^2/\text{m}^2]) \end{aligned} \quad (2)$$

waarin:

$$\begin{aligned} N &= \text{aantal personen} \\ f_i &= \text{geprojecteerd oppervlak van JJn persoon [m}^2] \end{aligned}$$

* = breedte van de vluchtgang [m]

l = lengte van de vluchtgang [m]

Het geprojecteerd oppervlak van personen is gegeven in [25] en in de tabel hieronder samengevat.

Tabel 4.1 Overzicht van de afmetingen en (geprojecteerd) oppervlak van personen.

Age and dress	Width (m)	Breadth (m)	Projected area f (m ²)
Adult:			
summer dress	0.46	0.28	0.1
mid-season street dress	0.48	0.3	0.113
winter street dress	0.5	0.32	0.125
Youth	0.43-0.38	0.27-0.22	0.09-0.067
Child	0.34-0.3	0.21-0.17	0.056-0.04
Adult:			
with child in arms	0.75	0.48	0.285
with baggage in hand	0.9-1.1	0.75	0.35-0.825
with knapsack	0.5	0.8	0.315
with light package	0.75	0.4	0.235

De vluchtsnelheid via deuren, omhoog en omlaag kan worden berekend met behulp van de volgende, langs empirische weg verkregen, vergelijkingen:

$$V_{\text{deur}} = v \times (1,17 + 0,13 \sin(6,03D - 0,12)) \quad (3)$$

$$V_{\text{omhoog}} = v \times (0,785 + 0,09e^{-3,45D} \sin(15,7D)), \text{ voor } D < 0,6 \quad (4)$$

$$v \times (0,785 - 0,10 \sin(7,85D + 1,57)), \text{ voor } 0,6 < D < 0,92 \quad (5)$$

$$V_{\text{omlaag}} = v \times (0,775 + 0,44e^{-0,39D} \sin(5,61D - 0,224)) \quad (6)$$

Hierin is:

v = snelheid in m/s

D = dimensieloze dichtheid

Voor de situatie in een tunnelbuis wordt de ontruiming bemoeilijkt door de niet constante breedte van de ruimte naast de voertuigen. Dit omdat de voertuigbreedte niet constant is (vrachtauto's, personenauto's) en de plaats van het voertuig op de rijbaan variabel is. Een extra belemmering is hier ook nog het openen van portieren en uitstappende personen waardoor een deel van de vluchtweg wordt geblokkeerd.

Aan de hand van de breedte van een personenauto (1,70 meter) en een vrachtauto (2,50) alsmede een gemiddelde dichtheid van 89% personenauto's en 10 % vrachtauto's en 1% autobussen en een totale beschikbare breedte van 22,5 meter is een gemiddelde vluchtwegbreedte geschat van ca. 1,63 meter. De voertuigen in de file staan niet steeds precies achter elkaar. Daarnaast is er sprake van openstaande portieren en uitstappende personen zodat geen rechte vluchtgang ontstaat. Mede om deze redenen is wordt aangenomen dat bij vluchten gebruik, wordt gemaakt van één vluchtweg. De effectieve vluchtwegbreedte is geringer dan de gemiddelde

vluchtwegbreedte en wordt geschat op de helft van berekende waarde vermindert met een gemiddelde afstand vanaf de wand van 0,15 m. Dit geeft een geschatte vluchtwegbreedte van circa 0,65 meter.

Berekeningen voor de vluchtmogelijkheden voor beide aanbiedingen, op basis van de hiervoor gegeven vergelijkingen en uitgangspunten, geeft het volgende:

dimensieloze dichtheid	: $D = 0,074$
horizontale vluchtsnelheid	: $v = 0,7 \text{ m.s}^{-1}$
vluchtsnelheid via een deur	: $v_{\text{deur}} = 0,8 \text{ m.s}^{-1}$
vluchtsnelheid omlaag	: $v_{\text{omlaag}} = 0,6 \text{ m.s}^{-1}$
vluchtsnelheid omhoog	: $v_{\text{omhoog}} = 0,6 \text{ m.s}^{-1}$

De verschillen tussen vluchtsnelheden op een horizontaal, dalend of stijgend vlak zijn betrekkelijk gering. In deze studie wordt daarom uitgegaan van één vluchtsnelheid: $0,6 \text{ m.s}^{-1}$.

D.2.2 Berekeningsmethode volgens BiZa

In [26] is een beveiligingsconcept beschreven voor onderwijsgebouwen waar uitgebreid ingegaan wordt op de ontruimingssnelheid als functie van lengte en breedte van de vluchtgang en de personendichtheid voornamelijk gebaseerd op proefnemingen.

Voor de ontruimingssnelheid voor horizontale ruimten werd een maximale snelheid vastgesteld van circa $1,9 \text{ m.s}^{-1}$.

De minimaal benodigde ontruimingstijd van horizontale ruimten kan als volgt worden bepaald:

Eerst wordt de personendichtheid bepaald met behulp van:

$$P/(l_p - l_l) * B_e$$

Hierin is:

P	= aantal personen aanwezig,
l_p	= langste door een persoon af te leggen afstand,
l_l	= langste door een persoon af te leggen afstand,
B_e	= effectieve breedte van de vluchtweg

In het geval van vluchten in een tunnelbuis geldt het volgende:

P	= 21,1 personen/100 meter (één rijstrook)
l_p	= 100 meter
l_l	= 1 meter
B_e	= 0,65 meter.

Dit resulteert in een dichtheid die kleiner is dan $0,8 \text{ personen.m}^{-2}$.

Voor een personendichtheid kleiner dan 0,8 geldt de maximale vluchtsnelheid: $1,6 \text{ m.s}^{-1}$.

D.2.3 Gehanteerde vluchtsnelheid

In paragraaf 2.2 is op basis van de methodiek beschreven in [25] een vluchtsnelheid van circa $0,6 \text{ m.s}^{-1}$ berekend. De vluchtsnelheid berekend volgens [26] resulteert in $1,6 \text{ m.s}^{-1}$.

Bij de schadeberekening zal worden uitgegaan van de gemiddelde vluchtsnelheid van $1,1 \text{ m.s}^{-1}$.

D.3 Tijdstip van vluchten

Uit casuïstiek is bekend dat mensen gaan vluchten indien de effecten al zodanig zijn dat vluchten al bijna niet meer mogelijk is [27]. Dit kan met name gelden voor brandsituaties in een tunnelbuis omdat de hete verbrandingsgassen als een propstroom door de tunnelbuis worden getransporteerd en de temperatuur snel kan oplopen. In deze studie wordt daarom aangenomen dat vluchten plaatsvindt op een zodanig tijdstip dat al sprake kan zijn van letaal letsel.

Bijlage E Gasexplosies

Een belangrijk aspect dat speelt bij het vervoer van gevaarlijke stoffen is het explosieaspect en met name gasexplosies. In deze bijlage wordt informatie gegeven over:

- het mechanisme van een gasexplosie (hoofdstuk E.1)
- de effecten van een gasexplosie in een tunnel of overkapping (hoofdstuk E.2)
- de toepassing van de huidige kennis op het gebied van gasexplosies in tunnels (hoofdstuk E.3).

De deelstudie naar het aspect gasexplosies is uitgevoerd door TNO Prins Maurits Laboratorium.

De referenties waarnaar in deze bijlage verwezen wordt, zijn opgenomen in paragraaf 5.5.

E.1 Het mechanisme van een gasexplosie

Onderzoek naar de sterkte van gasexplosies en het effect op de omgeving heeft uitgewezen dat de directe omgeving waarbinnen zich een gaswolk bevindt van groot belang is. Daarom wordt het mechanisme van een gasexplosie eerst kort beschreven voordat wordt ingegaan op het effect van gasexplosies bij de verschillende alternatieven.

Bij een gasexplosie wordt ervan uitgegaan dat een brandbare wolk aanwezig is. Deze wolk bestaat uit een mengsel van een brandbaar gas met lucht. De concentratie van het brandbaar gas is zodanig dat het mengsel gaat branden indien een voldoende sterke ontstekingsbron actief wordt.

Na ontsteking ontstaat er een reactiefront dat door het brandbare mengsel heenloopt. In dit reactiefront reageert het brandbare gas met zuurstof en “verbrandt”. Vanwege de hoge temperatuur van de reactieproducten ontstaat er expansie. Indien deze expansie wordt voorkomen, bijvoorbeeld in een geheel gesloten vat, dan loopt de druk op. Bij optimale mengsels van koolwaterstoffen in lucht kan eenvoudig chemisch worden bepaald dat de maximale overdruk een waarde tussen de 8 à 10 bar (800 à 1000 kPa) bereikt.

In een niet geheel gesloten situatie kan er expansie plaatsvinden en zal de druk in de meeste gevallen de waarde van 8 à 10 bar niet bereiken.

De snelheid waarmee de reactiezone door het mengsel loopt, de vlamsnelheid, is opgebouwd uit de reactiesnelheid, waarmee het reactiefront zich door het mengsel beweegt, en een snelheidcomponent vanwege de expansie.

De vlamsnelheid is mede bepalend voor de druk die wordt gegenereerd, de explosiedruk. Grofweg kan worden gesteld dat hoge vlamsnelheden gepaard gaan met hoge drukken, lage vlamsnelheden met lage drukken.

De vlamsnelheid wordt bepaald door de reactiviteit van het brandbare mengsel en door de aanwezigheid van randvoorwaarden die worden bepaald door de vorm van de ruimte waarbinnen de gaswolk zich bevindt en de aanwezigheid van obstakels binnen die ruimte.

De invloed van de reactiviteit ligt voor de hand. Een reactiever mengsel heeft een hogere verbrandingssnelheid waardoor de vlamsnelheid hoger zal zijn.

De invloed van de vorm van de ruimte en de zich daarin bevindende obstakels ligt minder voor de hand.

Ten gevolge van de expansie van de verbrandingsproducten zal er een stroming ontstaan voor de vlam uit. Door de interactie van deze stroming met obstakels wordt het stromingsveld beïnvloed waardoor het vlamoppervlak, op het moment dat de vlam ter plekke aankomt, wordt vergroot. Hierdoor reageert er meer product per tijdseenheid wat tot gevolg heeft dat de expansie wordt vergroot. Dit verhoogt de vlamsnelheid. De vergrootte expansie zorgt er ook voor dat het stromingsveld nog meer beïnvloed wordt bij de interactie met obstakels. Hierdoor ontstaat er een zelfversterkend effect waarbij de vlamsnelheid en de bijbehorende druk steeds hoger worden naarmate de vlam meer obstakels passeert.

Door de interactie van expansiestroming met de obstakels wordt de stroming al snel turbulent. De, in eerste instantie, smalle en laminaire verbrandingszone verandert dan in een verbrandingszone met een zeer groot brandoppervlak. In deze situatie wordt de vlam tot hoge snelheden versneld en ontstaan hoge explosiedrukken.

Een "fysische" voorwaarde voor het ontstaan van een gasexplosie is dan ook dat er voldoende obstakels en opsluiting aanwezig is om turbulentie te veroorzaken tijdens de verbranding van de gaswolk.

Bij vergaande versnelling van de vlam kan er een detonatie ontstaan. De relatief langzame verbranding, de deflagratie, slaat dan om in een detonatie. De vlamsnelheid in een detonatie bereikt enkele kilometers per seconde en de bijbehorende overdrukken liggen rond de 20 bar. In tegenstelling tot de deflagratie verbrandingsdruk treden de detonatiedrukken zeer tijdelijk en lokaal op.

Om echter een vlam te versnellen tot een detonatie zijn er voldoende turbulentie genererende obstakels nodig en is er tevens een voldoende grote lengte van de gaswolk nodig zodat er voldoende afstand is waarover de vlam kan worden versneld.

E.2 Gasexplosies in tunnels en overkapte wegen

E.2.1 Gasexplosies in tunnels

Met behulp van de beschrijving van het gasexplosiemechanisme kan worden ingezien dat de situatie van een brandbare gaswolk in een pijp of tunnel, potentieel tot hoge explosiedrukken kan leiden:

- de expansie van de verbrandingsproducten kan slechts in een richting plaatsvinden zodat de expansiestroming voor de vlam uit, groter is dan bijvoorbeeld in een open ruimte waar het gas in drie richtingen kan expanderen,
- de wrijving tussen de expansiestroming en de pijp- of tunnelwand leidt tot turbulente grenslagen die zorgen dat de vlam wordt versneld,
- eventueel aanwezige obstakels, zoals auto's in een tunnel zorgen voor het belangrijkste aandeel van de vlamversnelling,
- de grote lengte van tunnel of pijpleiding zorgt ervoor dat er voldoende afstand aanwezig is om de vlam tot een hoge snelheid te versnellen.

E.2.2 Onderzoek naar gasexplosies in tunnels

Vanwege het potentieel hoge gevaar op gasexplosies in tunnels is er door TNO, in opdracht van Rijkswaterstaat, in de zeventiger jaren een groot experimentele en theoretisch onderzoek uitgevoerd (samenvattende conclusies zijn te vinden in bijvoorbeeld [15] en [16]). Mede op grond van de toen verkregen resultaten heeft Rijkswaterstaat een limiet gesteld aan de maximale lengte van tunnels waardoor nog tot vloeistof verdicht gas in een niet beperkte hoeveelheid vervoerd mag worden.

Deze limiet is 80 m.

De limiet van 80 m wordt verondersteld ervoor te zorgen dat, indien de tunnel geheel gevuld is met een brandbaar mengsel, de vlam niet tot zodanig hoge snelheden kan worden versneld dat er structurele schade aan de tunnel zal optreden. Gebleken was uit experimenten op kleine geometrische schaal, dat de explosie-overdruk dan beperkt bleef tot ongeveer 1.3 bar. Deze waarde diende als maximaal toelaatbaar te worden aangehouden.

E.2.3 Onderzoek naar gasexplosies in overkapte wegen

Een uitvoering van een rijksweg die steeds meer in de belangstelling komt is de uitvoering waarbij een overkapping aanwezig is. De overkapping zorgt ervoor dat het geluidniveau in de omgeving wordt gereduceerd zodat er woningen kunnen worden gebouwd tot dichterbij de rijksweg. Een probleem daarbij is het transport van gevaarlijke stoffen en met name het aspect gasexplosies. Bij een constructief sterke overkapping is er in feite sprake van een tunnel en zou de lengte tot 80 m beperkt moeten blijven.

Bij een constructief niet sterke overkapping zou de overkapping mogelijk kunnen functioneren als explosiedrukontlasting. Bij een vroegtijdig bezwijken van de overkapping kan de explosie expanderen door het dak waardoor de explosiedruk beperkt blijft en waardoor er mogelijk geen detonatie optreedt. Ook zou een combinatie van constructief sterke dakdelen gecombineerd met openingen of met relatief zwakke dakdelen tot een voldoende reductie van de overdruk kunnen leiden.

Om de bovenstaande veronderstelling nader te funderen is door TNO, in opdracht van Rijkswaterstaat, hier onderzoek naar verricht. Referentie [17] behandelt de resultaten van een literatuurstudie en van een numeriek onderzoek, referentie [18] rapporteert over een experimenteel onderzoek waarbij experimenten op een schaal 1:19 zijn uitgevoerd.

De conclusies van beide onderzoeken kunnen als volgt worden samengevat:

Literatuur en numeriek onderzoek:

- de experimenten die in de literatuur worden gerapporteerd, zijn uitgevoerd op een kleine geometrische schaal,
- de experimenten lieten zien dat indien geen afdekking aanwezig was, de vlamsnelheden beperkt bleven,
- bij vaste dakbedekkingen met meer dan 25% gelijkmatig verdeelde perforatie trad geen vlamversnelling op,
- vaste overkappingen met een lengte tot 30 m gevolgd door een opening van 10m lang (wegbreed) lijken mogelijk, langere vaste delen dan 30 m in combinatie met open delen lijken niet toelaatbaar,
- een constructief niet sterke overkapping dient een gewicht te hebben van kleiner dan 150 kg/m^2 en dient te bestaan uit een groot aantal kleine delen.

Experimenteel onderzoek:

- de uitgevoerde experimenten zijn op een kleine geometrische schaal uitgevoerd,
- de invloed van de schaling is gecompenseerd door uit te gaan van een reactiever gas (ethyleen op kleine schaal om methaan op werkelijke schaal te simuleren),
- indien de gehele overkapping bestaat uit niet-constructieve delen moet de massa beperkt blijven tot 250 kg/m^2 ,
- combinatie van constructief sterke dakdelen met een lengte van meer dan 50 m gecombineerd met niet constructief sterke dakdelen met een massa van 250 kg/m^2 is niet toelaatbaar,
- verwacht wordt dat bij een constructief sterke dakafdekking, er een detonatie zal ontstaan als de afstand die de vlam na ontsteking heeft afgelegd 3 à 4 maal de tunneldiameter is, indien zich obstakels in de vorm van auto's in de tunnel bevinden.

E.2.4 Evaluatie van het verrichte onderzoek

Een zeer belangrijk aspect dat bij het uitvoeren van experimentele onderzoek aan de orde is, is het opschalen van de resultaten naar de werkelijke grootte.

Bij gasexplosies blijkt dat indien de proefopstelling geometrisch verkleind wordt, de vlamsnelheden en overdrukken afnemen bij gebruik van hetzelfde brandbare mengsel.

Om op kleine schaal dezelfde overdrukken en vlamsnelheden te krijgen als op grote schaal dient de reactiviteit van het brandbare mengsel te worden verhoogd. Het enige verschil tussen de resultaten op de diverse schalen bij een goede schaling is de tijdschaal. Door de tijdschalen op kleine schaal te vermenigvuldigen met de schaafactor worden de resultaten op kleine schaal identiek aan die van een grotere schaal [19].

In de door de EU gesponsorde projecten MERGE en EMERGE ([20] en [21]) is aandacht gegeven aan de schalingsproblematiek. Hierbij zijn experimenten verricht op drie verschillende geometrische schalen waarbij de proefopstelling exact wordt gereproduceerd op kleinere schaal. De invloed van schaal werd hierbij overduidelijk gedemonstreerd. Duidelijk werd bijvoorbeeld dat ethyleen gebruikt kan worden om methaan te vervangen bij een geometrische schaal van 1:6 à 9.

De gevolgtrekking uit het bovenstaande is dat de conclusies uit de voorgaande onderzoeken naar alle waarschijnlijk niet veilig genoeg zijn:

- voor een geheel met brandbaar gas gevulde overkapte weg zal de maximale massa van het dak lager moeten zijn dan 250 kg/m^2 om te dienen als explosiedrukontlasting,
- de maximale lengten van een tunnel om te voorkomen dat een geheel met brandbaar gas gevulde tunnel tot een onacceptabele hoge druk zal leiden dient mogelijk verder te worden beperkt.

E.3 Verloop van de gasexplosie bij de verschillende alternatieven

Op basis van de in de vorige hoofdstukken beschreven uitgevoerde onderzoeken kan een idee verkregen worden van het verloop van een gasexplosie in de voorgestelde alternatieven voor de overkapping van de A4 nabij Leiderdorp. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de gehele bakconstructie gevuld is met een brandbaar gas/luchtmengsel op het moment van onsteking.

De twee uitersten: een open en een geheel gesloten bak (tunnel) worden daarbij het eerste behandeld.

Alternatief 1: open bak

Uit het literatuuronderzoek is gebleken dat een verbranding van een gas/lucht mengsel in een langwerpige bak waarvan de bovenzijde geheel open is, niet zal leiden tot een explosie. Vanwege de grote mate van zijdelingse ontlasting van de expanderende verbrandingsproducten zal er geen vlamversnelling optreden.

Enige versnelling treedt mogelijk op onder auto's en vrachtwagens. Dit leidt tot lokale vlamversnelling met bijbehorende lokale drukverhoging. Zodra de vlam onder een auto uitkomt zal deze vertragen vanwege de grote ontlasting via het dak. Het resultaat zal zijn dat door de plaatselijke drukverhoging auto's enigszins opgetild worden en daarna weer neervallen.

Vanwege de geringe vlamsnelheid zal de verbranding van de gaswolk langere tijd in beslag nemen (enkele tientallen seconden bij een vlamafstand van 1090 m en een vlamsnelheid 10 m/s). In deze situatie is sprake van een "flash fire". Hierbij zijn de thermische effecten het belangrijkste.

Alternatief 3: tunnel

Bij dit alternatief is de bak over een lengte van 470 m als tunnel uitgevoerd. De plaats van ontsteking kan dan in het open gedeelte danwel in het tunnelgedeelte worden aangenomen.

Bij een ontsteking in het open gedeelte zal in eerste instantie hetzelfde gebeuren als bij alternatief 1, namelijk een langzame verbranding. Bij het betreden van de tunnel zal de vlam worden versneld door de turbulentie die veroorzaakt wordt in de grenslagen met de tunnelwand en, meer belangrijk, door de in de tunnel aanwezige obstakels. Nadat de vlam een lengte van enige tunneldiameters heeft afgelegd zal de deflagratie overgaan in een detonatie. De tunnel, waarvan gesteld kan worden dat deze de detonatiedruk niet kan weerstaan, zal bezwijken. De overmaat aan druk ten opzichte van de druk waarbij de tunnel bezwijkt zal ervoor zorgdragen dat brokstukken van de tunnel worden weggeslingerd.

Voor de continuïteit van een detonatie zijn geen turbulentiegenererende obstakels nodig. Bij een voldoende homogeniteit van het gasmengsel houdt de detonatie zichzelf in stand. Dit betekent dat ook het gas dat zich in het open gedeelte van de bak bevindt en dat nog niet in de deflagratie is verbrand, mee zal detoneren. Het gevolg zal zijn dat over de gehele baklengte een schokgolf zal ontstaan die zich in de omgeving zal voortplanten en aldaar mensen en constructies belast met een hoge overdruk.

Bij een ontsteking in de tunnel zal er al snel een detonatie optreden die waarschijnlijk door zal lopen in de open gedeeltes aan weerszijden van de tunnel. Van een langzame verbranding met bijbehorende thermische effecten zal veel minder sprake zijn.

Alternatief 2: dodo

In dit alternatief is de bak op enkele plaatsen voorzien van een constructief sterk dak. De gedeelten tussen deze afgedekte plaatsen zijn open.

De propagatie van de vlam tijdens de verbranding zal afwisselend versneld en vertraagd worden.

Bij ontsteking in een open gedeelte blijft de vlamsnelheid in eerste instantie laag. De vlam wordt versneld na het betreden van een tunnelgedeelte. Mogelijk vindt er

binnen een afstand van 80 m detonatie plaats. Is dit het geval, dan zal de rest van het gas in de bak, in de open danwel de gesloten gedeelten, meedetoneren. Ontstaat in de tunnel van 80 m geen detonatie, dan zal de vlam vertragen nadat deze het tunnelgedeelte heeft verlaten. Immers, door de grote ontlastmogelijkheid via het dak wordt de expansie in de richting van de vlam gedeeltelijk weggenomen.

Bij het bereiken van het volgende tunnelgedeelte zal de vlam wederom versnellen. In het geval de snelheid in het open gedeelte is afgenomen tot de oorspronkelijke lage snelheid dan mag worden verwacht dat de versnelling in het tunnelgedeelte niet tot een detonatie leidt. Is dit echter niet het geval en is de beginsnelheid op het moment dat de vlam het tunnelgedeelte in gaat nog verhoogd, dan is de kans op een detonatie aanmerkelijk groter.

Van belang is dus dat de afstand tussen de tunnelgedeelten groot genoeg is om de vlam te vertragen tot de oorspronkelijk lage waarde. Op grond van het tot nu toe uitgevoerde onderzoek kan hierover geen harde uitspraak worden gedaan. In [17] werd gesteld dat constructief sterke overkappingen met een lengte van 30 m afgewisseld met openingen met een lengte van 10 m waarschijnlijk niet acceptabel zijn. In deze situatie bedraagt de opening 25% van de totale daklengte. Bij 80 m dicht afgewisseld door 50m open is het openingspercentage 38%.

Op grond hiervan zou gesteld kunnen worden dat bij de 80 m dicht/50 m open oplossing (80/50) er waarschijnlijk van kan worden uitgegaan dat de vlamversnelling in de tunnelgedeelten onafhankelijk van elkaar plaatsvinden en dat als de eerste tunneldoorgang niet tot een detonatie leidde, de volgende tunneldoorgangen eveneens niet tot detonatie zullen leiden.

Alternatief 4a: luifel

Voor het verloop van een gasexplosie is deze situatie, vanwege de relatief grote opening in langsrichting, vergelijkbaar met de open bak situatie (alternatief 1).

Alternatief 5: schermenrooster

Als een mogelijke constructieve oplossing om te komen tot geluidreductie waarbij de verdiepte weg toch niet geheel afgesloten is bestaat uit een roosterachtige afdekking waarbij het rooster bestaat uit 2 m hoge wanden en waarbij de openingen van het rooster bestaat uit vakken van 1 bij 1 m.

Ondanks het feit dat de aanwezige opening nauwelijks wordt verkleind door het rooster kan toch worden verwacht dat de roosters een versterkend effect zullen hebben op het verloop van de gasexplosie. Uit de beschrijving van het gasexplosiemechanisme blijkt dat turbulentiegenererende obstakels de belangrijkste oorzaak zijn van vlamversnelling en dus van explosiedrukverhoging.

De grote openingen in de dakconstructie zonder rooster zorgen ervoor dat de explosie kan worden ontlast zodat de druk beperkt wordt. Bij de expansie van de explosie door het dak zal tevens onverbrand gas door het dak worden geventileerd en buiten de tunnelbak verbranden. Indien door de uitstroming de turbulentie van het gas groot is zal de verbranding van dit gas explosief plaatsvinden. Indien in de

uitstroomopening een constructie aanwezig is, zoals het open geluidrooster, die turbulentie opwekt gedurende de expansiestroming wordt de externe verbranding versneld hetgeen de totale explosie zal versterken.

E.4 Effecten in de omgeving ten gevolge van de explosieblast

Ten gevolge van een gasexplosie zal er een schok- danwel drukgolf ontstaan die zich van het explosiecentrum af beweegt en constructies en mensen in de nabije omgeving met een overdruk zullen belasten. Zoals in het vorige hoofdstuk is aangegeven, verloopt de gasexplosie in elk van de drie alternatieven op een andere manier. Dit heeft een direct gevolg voor de effecten en de uitwerking daarvan op de omgeving.

In paragraaf 5.3.3 van de hoofdtekst wordt op een zeer eenvoudige en globale wijze een indruk gegeven van het verschil in uitwerking van een gasexplosie in elk van de drie alternatieven.