

T118

Tunnels en luchtkwaliteit



T118

Tunnels en luchtkwaliteit

Lay-out

Sirene Ontwerpers

Druk

Repro Europoint

Auteursrechten

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de COB. Het is toegestaan overeenkomstig artikel 15a Auteurswet 1912 gegevens uit deze uitgave te citeren in artikelen, scripties en boeken, mits de bron op duidelijke wijze wordt vermeld, alsmede de aanduiding van de maker, indien deze in de bron voorkomt. 'Gedrag van bouwputten, 2009, Stichting COB, Gouda.'

Aansprakelijkheid

COB en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het samenstellen van deze uitgave. Nochtans moet de mogelijkheid niet worden uitgesloten dat er toch fouten en onvolledigheden in deze uitgave voorkomen. Ieder gebruik van deze uitgave en gegevens daaruit is geheel voor eigen risico van de gebruiker en COB sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze uitgave en de daarin opgenomen gegevens, tenzij de schade mocht voortvloeien uit opzet of grove schuld zijdens COB en/of degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt.

ISBNnummer

978-90-77374-28-3

Samenvatting

Het Centrum voor Ondergronds Bouwen heeft een onderzoek uitgevoerd naar de emissieverspreiding bij tunnelportalen. Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de regionale directies Zuid-Holland en Noord-Holland van Rijkswaterstaat en van het Innovatieplatform Luchtkwaliteit (dit platform is eind 2009 opgeheven).

Het onderzoek bestaat uit de volgende 4 delen:

1. Het verzamelen van binnenlandse en buitenlandse kennis over de wijze van verspreiding van verkeersemisies bij tunnelmonden. Deze kennis betreft rekenmethoden, rekenmodellen, data van schaalmodelproeven en alle relevante informatie die nog meer gevonden kan worden. De informatie is gebundeld en toegankelijk gemaakt. De gevonden kennis uit verschillende bronnen is voor zover mogelijk met elkaar in verband gebracht, tegen elkaar afgewogen en beoordeeld. Op basis van de gevonden informatie is vastgesteld dat in een aantal landen de luchtkwaliteit rondom het tunnelportaal gedetailleerder wordt gemodelleerd. Er blijkt wereldwijd relevante informatie beschikbaar te zijn, echter er zijn maar drie analytische rekenmodellen gevonden die de specifieke situatie bij een tunnelportaal beschrijven. Twee zijn afkomstig uit Japan en één uit Oostenrijk. Uit een in Oostenrijk uitgevoerde vergelijking tussen de modellen en praktijkmetingen lijkt het Oostenrijkse model 'GRAL' (overigens voorgeschreven in de Oostenrijkse wetgeving voor luchtkwaliteit) tot resultaten te leiden die het dichtst bij gemeten waarden liggen. Uit schaalmodelmetingen en praktijkmetingen, vooral uitgevoerd in het buitenland, heeft men verschillende invloeden gedefinieerd, waaronder de impuls die de lucht uit het uitgangsportaal heeft (een 'jet-werking'), de interactie tussen uitstromende lucht en de wind, eventuele thermische effecten en chemische reacties die de geëmitteerde stoffen zelf ondergaan.
2. Het doen van een praktijkmeting bij een bestaand tunnelportaal. De informatie die daarmee wordt verkregen moet inzicht geven op de vraag of verhoogde emissieconcentraties bij tunnelmonden inderdaad optreden. Dat blijkt het geval te zijn. De bijdrage van de weg (inclusief de emissie uit de tunnel) aan de totale concentratie is voor stikstofdioxide circa $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Langs de open weg is de wegbijdrage aan de totale concentratie meestal in de orde van ca. $6 - 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Voorts is ook getracht een beeld te krijgen van de wijze van verspreiding. Op basis van de meetgegevens lijkt de impuls in de uit een tunnelportaal stromende lucht tot een 'jet-werking' te leiden. Andere in de literatuur genoemde effecten zijn niet gevonden, maar er moet worden opgemerkt dat de meetperiode beperkt was tot 2 maanden.
3. Het uitvoeren van schaalmodelonderzoek aan 5 tunnelportalen waarbij per tunnelportaal meerdere varianten zijn beschouwd. De tunnelportalen maken deel uit van in de toekomst geplande tunnels in het hoofdwegennet. Het doel was om een beter begrip te krijgen van de verspreiding van luchtverontreiniging bij tunnels. Een tweede doel was de effecten van passieve maatregelen die tot extra verdunning in de lokale omgeving bijdragen te bestuderen. Uiteindelijk zijn er bij de 5 portalen 16 verschillende vormen beproefd. Voor wat betreft de karakterisering van het

stromingsprofiel is met name een 'jet-werking' vanuit het uitgangsportaal opgelegd. Deze luchtstroom heeft een interactie met de wind. In de modellen is de invloed van verschillende passieve maatregelen bepaald. Het blijkt dat luchtschermen de gunstigste invloed hebben. Andere passieve maatregelen zoals een geperforeerd dak, 'half-open' wanden, schoepen boven het uitgangsportaal, lijken nauwelijks of zelfs een negatieve invloed te hebben – in ieder geval in de bemeten schaalmodellen. De resultaten blijken in hoge mate bepaald te worden door de omgevingskenmerken en ligging en vormgeving van de tunnelmond.

4. Er is een vergelijking gemaakt tussen de praktijkmeting bij de Wijkertunnel en een CFD-analyse voor de Wijkertunnel. Tevens is een vergelijking gemaakt tussen een schaalmodelmeting aan de Tunnel in de A4 Delft-Schiedam en een CFD-analyse voor deze tunnel. Bij de vergelijking is het programma WinMiskam gebruikt. In vergelijking met zowel de schaalmodelmeting (A4 Delft-Schiedam) als de praktijkmeting (Wijkertunnel) blijkt dat er vooralsnog tamelijk grote verschillen kunnen bestaan tussen meetwaarden en door middel van CFD berekende waarden. Dit lijkt vooral veroorzaakt te worden doordat specifiek in het gebruikte CFD-model WinMISKAM aan de lucht die uit het uitgangsportaal stroomt geen impuls kan worden meegegeven – in andere bewoordingen de 'jet-werking' kan niet worden gemodelleerd met WinMISKAM. In veel andere CFD-modellen kan dit wel. Daarnaast is er onzekerheid over de waarden van de vele in te voeren variabelen in een CFD-model.

Het onderzoek heeft aangetoond dat de in het RBL2007 voorgeschreven rekenmethoden voor tunnels tamelijk generiek zijn, ook na de aanvullingen gepubliceerd in 2009. Dat hoeft niet erg te zijn wanneer de berekende waarden aanzienlijk onder of boven de toegelaten grenswaarden liggen; in het ene geval voldoet het project dan aan de gestelde luchtkwaliteitsnormen, in het andere geval is nader onderzoek nodig en zullen maatregelen moeten worden genomen. Wanneer de berekende waarden in de buurt van grenswaarden liggen is echter voorzichtigheid geboden, vooral als de uitkomsten direct gebruikt worden voor maatregelen met vergaande invloed en zonder dat nader onderzoek – zoals windtunnelonderzoek – wordt uitgevoerd. Er blijken in het buitenland nauwkeuriger rekenmethoden beschikbaar te zijn die bij toepassing misschien leiden tot een nauwkeuriger inschatting op basis van berekeningen dan nu het geval is. Vooral in stedelijke gebieden zou hiermee voordeel kunnen worden gehaald. Maar schaalmodelonderzoek zal steeds noodzakelijk blijken indien het om kritische situaties gaat. CFD lijkt een instrument met veel potentiëel om als "elektronische windtunnel" in te zetten, maar hiervoor is wel een zekere standaardisatie nodig om de kwaliteit van resultaten te bewaken. Naar aanleiding van het onderzoek kan men besluiten verder te gaan met een ontwikkeling gericht op het bereiken van inschattingmethoden die op een heldere en eenduidig rekening houden met de specifieke omstandigheden nabij tunnelmonden.

Ook het effect van passieve maatregelen op concentraties zou nauwkeuriger kunnen worden vastgesteld. Het effect van een maatregel kan in principe het beste in het veld worden gemeten, mits gezorgd wordt dat de metingen aan daarvoor geldende criteria voldoen. Als doelstelling kan dan worden geformuleerd dat berekende concentraties of in een windtunnel gemeten concentraties zo dicht mogelijk in de buurt liggen van de concentraties die in het veld zouden zijn gemeten. Daarbij geldt het kwaliteitskader zoals beschreven in artikel 65 en 72 van de Regeling beoordeling luchtkwaliteit 2007 (RBL 2007).

Binnen het hierboven gestelde perspectief is er aanleiding:

- Voor een verdere ontwikkeling van de rekenregels in het RBL 2007, waarbij het aanbeveling verdient hierbij reeds ontwikkelde buitenlandse methoden te betrekken.
- Te komen tot nadere besluitvorming over de validatie van CFD-modellen en aanbevelingen op te stellen voor het gebruik van deze modellen in praktijk.
- Aanvullende regels voor het uitvoeren van windtunnelonderzoek en het toepassen van de resultaten daarvan op te stellen.

Bovenstaande ontwikkeling kan niet los worden gezien van het Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit. Resultaten van nauwkeurige berekeningen en van windtunnelonderzoek moeten in monitoringstool ingevoerd kunnen worden zodat een representatiever beeld ontstaat.

Of dit zal leiden tot wel/niet overschrijding van de voor deze stoffen geldende grenswaarden is sterk afhankelijk van de resultaten van generiek beleid zoals deze in de toekomstige achtergrondconcentraties tot uitdrukking zal komen.

Summary

The Center for Underground Spaces has carried out an investigation on available knowledge about the dispersion of traffic related emissions to the vicinity of tunnel portals. The investigation was done by order of the regional Directie Zuid-Holland and Directie Noord-Holland of Rijkswaterstaat and the Innovation project Air Quality of Rijkswaterstaat (this project was closed end 2009).

The investigation consists in 4 parts:

1. Collecting knowledge from inland and foreign sources about the dispersion of traffic emissions from and around tunnel portals. The knowledge addresses calculation methods, calculation models, data of scale model tests, measurements around tunnel portals, etc. The information is collected, judged and described and where possible are relationships given. The collected information shows that in several countries the air quality around tunnel portals is modeled more in detail. Worldwide is relevant information available, however only three analytical models are found which describe the specific situation around tunnel portals. Two of them are from Japan and one from Austria. In Austria a comparison between the Austrian model and one of the Japanese models has been done and the Austrian model "GRAL" seems to lead to results which seems to be most close to measured values in real situations. In Austria the GRAL model must be used according to the Austrian law. From scale model experiments and measurements done in practice, especially done in other countries, several influences are defined including the impulse in the flowing air from the tunnel exit portal (jet stream), the interaction between flowing air from the tunnel portal and the wind, thermal effects and chemical reactions between the emissions.
2. Doing measurements in practice near an existing tunnel portal. The gained information must provide insight in the mere existence of higher concentrations around tunnel portals. The measurements done show that the higher concentrations exist. The contribution from the road including the tunnel to the background concentrations is about $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for NO_2 . Along open roads the traffic contribution is mainly in the range of $6 - 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ which is significant more than the contributions for only an open road. Also an impression is gained of the way of dispersion. Based on the measurements the impulse in the flow from the tunnel portal seems to result into a kind of 'jet flow'. Other phenomena mentioned in literature are not found, but it must be mentioned that the measuring period was short and only 2 months.
3. Scale model tests on 5 tunnel portals and several variants of tunnel portal shapes. The future tunnels will be part of the Dutch highways. The purpose was to determine trends in the way of dispersion. A second goal was to determine the effects of passive measures. Due to a characterization of the flow pattern from the exit portal a jet flow is created. The jet flow interacts with the simulated wind. In the models several passive measures are tested. The results is that screens along the road side have the best effect. Other measures like perforated roofs or walls and flow screens above the road seem to have less or even a negative effect. The results are highly effected by the shape of the tunnel exit and the surroundings.

4. A comparison has been made between the measurements done in practice near the Wijkertunnel and CFD simulations. Also a comparison has been made between the results of the scale tests for the A4 Midden Delfland tunnel and CFD simulations. The used CFD model is WinMiskam. The results of the CFD modelling were in the sense of flow patterns very different from the measurements. The reason is that in WinMiskam the jet flow cannot be programmed. One should note that this is not common for other CFD models. A second point is being unsure about the choice of the values for boundary conditions and starting points.

The research shows that the the prescribed calculation methods in the Dutch Judgement of Air Quality 2007 (RBL2007) are possible too general, also after the additional requirements as published in 2009. This is not a problem when the calculated values are much below of a lot above the allowed levels; in the first situation the project meets the required air quality standards, in the other case additional research is needed and measures will be taken. However when the calculated values are around the allowed levels one must be careful, especially when the results are used directly for decisions about measures and no additional scale models are tested in a wind tunnel. It seems that in other countries calculation methods are available which maybe predict more accurate air quality around tunnel portals than then the Dutch methods. In urban situations better results may be gained. But still scale model research must be carried out in critical situations. CFD models seem to be of help as a kind of an "electronic wind tunnel", however more standardization is needed to keep some quality standard for the results. Based on the research described in this report one could make a decision to develop more accurate analytical calculation methods which can be applied to tunnels and act in a clear and uniform way.

The effect of passive measures could be defined more accurate. When measurements on NO₂ and PM10 in practice are seen as the most accurate values it can be a purpose – based on the article 65 and 72 in the Dutch Air Quality regulations (RBL2007) – to calculate or to measure in wind tunnels concentrations which are as close as possible to the actual values in reality.

The best way to establish the effects of passive measures is in principle to carry out field measurements, which meet the appropriate criteria. As a purpose the calculated or in a wind tunnel measured concentrations should be in line and as close a possible to the results of field measurements. For such investigations in The Netherlands the set of quality criteria as mentioned in the Dutch law on Air Quality (Regeling beoordeling luchtkwaliteit 2007) the articles 65 and 72 must be used.

Within this perspective the following actions could be taken:

- An ongoing development of analytical calculation methods in RBL 2007, with a statement that it could be wise to use developments already done in other countries which have proven to be valuable.
- Making decisions about the use and validation of CFD models and to develop rules for the use of CFD models.
- Develop rules for carrying out scale model tests in wind tunnels and to develop rules how to use the results in air quality investigations.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
Summary	7
1 Onderzoeksopdracht	11
2 Achtergronden en Motivatie	13
3 Verhoogde concentraties bij tunnelportalen	17
4 K1: Literatuuronderzoek	21
4.1 Aanleiding	21
4.2 Doelstelling	21
4.3 Rekenmethoden en rekenmodellen	21
4.3.1 Nederlandse rekenmethoden en rekenmodellen	21
4.3.2 Buitenlandse rekenmethoden en rekenmodellen	22
4.4 Schaalmodelmetingen	24
4.5 Metingen in praktijk	25
4.6 Invloed passieve maatregelen	28
4.7 Beschouwing van de resultaten	28
5 K2: Praktijkmeting bij een tunnelportaal	31
5.1 Beschrijving Situatie	31
5.2 Meetopstelling	32
5.3 Meetresultaten NO ₂ -concentraties	34
5.4 Meetresultaten CO ₂ -concentraties	35
5.5 Vergelijking metingen van NO ₂ - en CO ₂ -concentraties	37
5.6 Meetresultaten PM ₁₀ -concentraties	37
5.7 Algemene beschouwing	38
6 K3: Schaalmodelonderzoek	39
6.1 Aanleiding voor het onderzoek	39
6.2 Configuraties in de schaalmodelonderzoeken	41
6.2.1 Gaasperdammertunnel in Amsterdam Zuid-Oost	41
6.2.2 Keizer Karel tunnel te Amstelveen	44
6.2.3 Noordelijke tunnelmond A4 Delft-Schiedam	45
6.3 Resultaten van de schaalmodelonderzoeken	48
6.4 Conclusies	55
7 CFD-methoden	57
8 Bevindingen en Conclusies	65
Bijlage 1 Rapporten	67
Bijlage 2 Deelnemers Commissie T118	68

1 Onderzoeksopdracht

Voor het bepalen van de bijdrage van verkeersemissies aan de concentraties bij wegen zijn in Nederland rekenmethoden voorgeschreven in de Regeling Beoordeling Luchtkwaliteit 2007. Er is voor gekozen om eenvoudige rekenmethoden voor te schrijven. De methoden moeten ook worden gebruikt voor tunnels en de omgeving rondom tunnelportalen. Bij tunneluitgangen en bij openingen in tunnels komen in praktijk verhoogde concentraties voor. Met de rekenmethoden kan rekenkundig een schatting worden gemaakt van deze verhoogde concentraties. Men kan er ook voor kiezen om – in plaats van of in aanvulling op de berekeningen – schaalmodel onderzoek in een windtunnel te doen. Zoals valt te verwachten zijn er verschillen tussen schaal-modelonderzoek en berekeningen, soms in mindere mate, soms in aanzienlijke mate. Nu worden de uitkomsten van luchtkwaliteitsonderzoek onder andere gebruikt om de nodige maatregelen rondom tunnelportalen vast te stellen en deze maatregelen kunnen zeer kostbaar zijn. De verschillen in uitkomsten tussen berekeningen en schaalmodelonderzoek zijn vooral belangrijk als de ene uitkomst onder de norm voor luchtkwaliteit ligt en de andere erboven. Op basis hiervan werd in 2007 door zowel overheden als diverse marktpartijen gesteld dat er aanleiding was om informatie te verzamelen over de wijze waarop verspreiding van verkeersemissies bij tunnelportalen optreedt. Dit zou kunnen helpen de verschillen te verklaren en indien nodig of mogelijk bepalingsmethoden te verbeteren. Het onderzoek zou dan door het COB worden gecoördineerd.

In de afgelopen jaren is onderzoek gedaan naar de invloed van maatregelen bij tunnelportalen. Verwezen wordt onder andere naar het onderzoek dat in de COB-commissie D10 tussen 2005 en 2007 werd verricht. Daaruit bleek dat oplossingen voor luchtkwaliteitsproblemen nabij tunnels veelal worden gezocht in actieve systemen zoals ventilatie en reiniging. Tijdens dit onderzoek rees al de vraag hoe groot het probleem van verhoogde emissies rondom tunnelmonden nu eigenlijk is. Op basis daarvan is het voornemen geformuleerd een onderzoek te doen naar de wijze van bepaling van emissieconcentraties bij tunnelmonden.

Ter voorbereiding heeft een voorbereidende werkgroep, bestaande uit Rijkswaterstaat, Gemeente Utrecht, Gemeente Den Haag, Arcadis, DHV, Movares, Volker Wessels en h3mhuijben Consultancy in de periode 2007/2008 een onderzoek gedefinieerd met de volgende vraagstelling:

- Kan de bepaling bij tunnelmonden nauwkeuriger worden bepaald?
- Welke effect hebben passieve maatregelen op de luchtkwaliteit bij tunnelmonden?

De voorbereidende werkgroep heeft op basis van de eerste vraag de volgende onderzoeken geformuleerd:

1. Ga na welke informatie er in binnen- en buitenland is met betrekking tot de bepaling van luchtkwaliteit nabij tunnelportalen, doe dit door middel van een literatuuronderzoek.
2. Doe een praktijkmeting bij een tunnelportaal in Nederland.
3. Doe schaalmodelmetingen aan varianten van tunnelportalen en bekijk daarbij meteen de effecten van passieve maatregelen.
4. Ga na of op basis van de eerste 3 deelonderzoeken een aanbeveling kan worden geformuleerd ter verbetering van de bepalingsmethode van luchtkwaliteit bij tunnelportalen.

Op basis van de voorbereidingen is eind 2008 een uitvoeringscommissie T118 Tunnels en Luchtkwaliteit ingesteld. Deze commissie heeft invulling gegeven aan de eerste 3 hoofdpunten door middel van:

- een literatuur onderzoek naar alle mogelijke informatie – welke zowel nationaal als internationaal beschikbaar is – op het gebied van emissieverspreiding vanuit tunnelportalen naar de omgeving
- een meting bij een werkelijk tunnelportaal
- onderzoek aan schaalmodellen van tunnelportalen

Tijdens de uitvoering van het onderzoek is een 4^e onderdeel gedefinieerd waarin de toepassing van CFD nader is beschouwd op basis van de resultaten van de praktijkmeting en één van de schaalmodelmetingen.

In dit rapport zijn de resultaten van de verschillende deelonderzoeken samengebracht en beoordeeld. Het rapport beschrijft daarmee een weergave van beschikbare internationale literatuur en metingen bij tunnels. Luchtkwaliteit rondom tunnel is een complex onderwerp en het is nuttig om te weten hoe men hier zowel nationaal als internationaal mee omgaat.

2 Achtergronden en Motivatie

Ter plaatse van tunneluitgangen en bij openingen in tunnels komen verhoogde concentraties van verkeersemisies voor. Ten tijde van de start van het onderzoek, eind 2007, leverde dat in het kader van een ruimtelijke procedure (tracéwetprocedure, bestemmingsplanprocedure) een juridisch knelpunt op indien de concentraties van stikstofdioxide en fijn stof de voor deze stoffen geldende grenswaarden overschreden. Het knelpunt diende in het kader van de van toepassing zijnde procedure (tracéwet- of bestemmingsplanprocedure) te worden opgelost. Dit leidde tot uitvoerige en tijdrovende luchtonderzoeken waarin verschillende, veelal kostbare, maatregelen werden door-gerekend. Deze uitvoeringspraktijk heeft in aantal gevallen tot substantiële vertragingen in lopende procedures geleid. Het onderzoeksprogramma van het COB was er ten dele op gericht deze vertragingen te voorkomen.

Per 1 augustus 2009 is het Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL) in werking getreden. Dat heeft er toe geleid dat de toets aan grenswaarden niet meer op projectniveau maar op programmaniveau plaatsvindt. Projecten die zijn opgenomen in het NSL behoeven niet meer afzonderlijk aan de grenswaarden voor de luchtkwaliteit te worden getoetst. Deze ontwikkeling heeft invloed op de motivatie van het onderhavig COB-onderzoek. Bij de start van het COB-onderzoek eind 2007 moest het NSL nog door het kabinet worden vastgesteld. Belangrijke voorwaarde daarvoor was het verkrijgen van derogatie (uitstel van termijnen waarop binnen Nederland aan de grenswaarden voor stikstofdioxide en fijn stof moet zijn voldaan) vanuit Brussel. Met deze achtergrond was het eind 2007 nog niet zeker dat projecten gebruik zouden kunnen gaan maken van de juridisch grondslag inhoudend dat het project past binnen het NSL en niet meer separaat aan de wettelijke grenswaarden behoeft te worden getoetst. Dat betekende dat, in afwachting op de inwerkingtreding van het NSL, voor ruimtelijke procedures als bijvoorbeeld een tracéwet- of bestemmingplanprocedure voor luchtkwaliteit nog moest worden uitgegaan van een toets aan de grenswaarden op projectniveau. Projecten waarin nieuwe of aanpassing van tunnels was voorzien, vroegen daarbij om extra aandacht omdat uit luchtonderzoek veelal bleek dat ter plaatse van de tunnelmonden de grenswaarden werden overschreden. Dit gold met name voor de jaargemiddelde concentraties stikstofdioxide.

Bij wijze van voorbeeld wordt genoemd dat in de tracéwetprocedure “uitbreiding Coentunnel” een inventieve oplossing is bedacht om het probleem van de luchtkwaliteit bij tunnelmonden op te lossen, namelijk door plaatsing van een installatie waarbij lucht-emisies uit de tunnel worden afgezogen en vervolgens via schoorstenen uit de tunnel worden verwijderd. Deze maatregel is effectief, maar niet bepaald efficiënt rekening houdend met investerings- en beheerskosten. Bovendien leidt een dergelijk systeem tot een relatief hoge CO₂-uitstoot.

In andere tracéwetprocedures die in de loop van 2008 en 2009 liepen werd de oplossing van afzuiging via schoorstenen in navolging van de uitbreiding van de Coentunnel opgenomen. Dit gold bijvoorbeeld voor de projecten A4 Delft-Schiedam (realisatie nieuwe tunnel) en Schiphol-Amsterdam-Almere (realisatie twee nieuwe tunnels namelijk in Amstelveen en in Amsterdam Zuid-Oost) waarin de oplossing van afzuiging

via schoorstenen werd opgenomen. In dit licht was de vraag voor het onderhavige COB-onderzoek opportuun of er geen andere oplossingen denkbaar waren als alternatief voor de plaatsing van dure afzuiginstallaties. Daarbij kwam ook nog als argument bij dat plaatsing van hoge schoorstenen in stedelijk gebied naar verwachting de nodige bestuurlijke en maatschappelijke weerstand zouden oproepen. De invloed van passieve maatregelen als schermen boven het tunnelportaal, speciaal gevormde schermen langs de weg, half open tunnelwanden of schermen e.d. is nauwelijks bekend. De vraag is van belang of deze passieve maatregelen een alternatief kunnen bieden voor een actief systeem waarbij emissies uit een tunnel worden afgezogen. De effecten van deze passieve maatregelen waren nauwelijks kwantificeerbaar.

Voor het bepalen van deze concentraties zijn in Nederland wettelijke rekenmethoden voorgeschreven. Er is voor gekozen om eenvoudige rekenmethoden voor te schrijven. In praktijk blijken de uitkomsten af te wijken van schaalmodelmetingen, soms in mindere mate, soms in aanzienlijke mate. Binnen het COB-onderzoek zijn daarom twee deelprojecten opgenomen die hierop betrekking hebben.

Ten eerste betreft dat de vraag hoe nu precies de luchtkwaliteit wordt berekend bij tunnelmonden. En het verzoek werd gedaan een vergelijking te maken met buitenlandse rekenmodellen. Aanleiding daartoe was de constatering dat rekenmodellen onvoldoende zekerheid boden over de juistheid van de uitkomsten, hetgeen dan vervolgens tot het treffen van kostbare maatregelen die wellicht met een meer nauwkeurige berekening veel goedkoper had kunnen uitpakken. Soms werden lagere maar veelal juist ook hogere concentraties bij tunnelmonden berekend dan op grond van windtunnelonderzoek mocht worden verwacht. Deze afwijkingen kunnen niet goed worden verklaard, anders dan op grond van de veronderstelling dat met name inputfactoren in het geding zijn waarmee in een windtunnelonderzoek wel en bij uitgevoerde berekeningen conform de Regeling Beoordeling Luchtkwaliteit 2007 geen of in mindere mate rekening wordt gehouden. Zo worden bij het berekenen van emissies bij tunnelmonden emissiefactoren gebruikt zoals deze volgens VROM gelden voor wegen in het algemeen. Vanwege hellingen, de gesloten constructie en de afwezigheid van zonlicht kunnen emissiefactoren in tunnels anders zijn als op de open weg. Voor NO₂ kunnen lagere concentraties verwacht worden dan boven en langs de open weg vanwege het gebrek aan toevoer van ozon en het ontbreken van zonlicht in een tunnel. Voor PM₁₀ kan door depositie tegen de wanden en het dak van de tunnel en door coagulatie en adsorptie (zie hoofdstuk 3) ook een andere situatie optreden dan in de open lucht. Deze effecten zijn wel bekend maar worden niet gebruikt bij berekeningen voor tunnels, mede omdat ze moeilijk kunnen worden gekwantificeerd.

De range waarbinnen inputparameters voor rekenmodellen moeten liggen is weliswaar beschreven of voorgeschreven, maar de rekenmodellen blijken zeer gevoelig te zijn voor de keuze van sommige inputparameters binnen de voorgeschreven range. Zo'n bepalende factor lijkt bijvoorbeeld de ruwheidsfactor te zijn. Keuze voor ruwheidsfactor 4, zoals in recentelijke studies steeds vaker voorkomt, geeft een veel gunstiger uitkomst ten opzichte van luchtkwaliteitsberekeningen waarin maximaal ruwheidsfactor 3 in stedelijk gebied werd toegepast en waarschijnlijk ook een ongunstiger uitkomst indien ter plaatse de luchtkwaliteit met behulp van windtunnelonderzoek zou zijn gebracht. Het literatuuronderzoek (K1) is er daarom op gericht kennis te verkrijgen van de wijze waarop aan luchtkwaliteit bij tunnelmonden in binnen- en buitenland wordt

gerekend waardoor het wellicht duidelijker zal worden waarom er verschillen kunnen optreden tussen uitgevoerde berekeningen onderling en tussen deze berekeningen en uitgevoerd windtunnelonderzoek.

Tegelijkertijd werd geconstateerd dat er niet of nauwelijks meetdata voor concentraties stikstofdioxide en fijn stof in de nabijheid van tunnelmonden beschikbaar waren. Hoewel het niet de bedoeling was om het kader van het COB-onderzoek een volledig en langdurig meetprogramma op te zetten, is er wel voor een periode van 2 maanden een meting uitgevoerd en wel bij de Wijkertunnel. Zo kon meer inzicht worden verkregen in de vraag of er wel sprake is van een substantiele bijdrage vanuit de tunnelmond aan heersende concentraties en zo ja hoe dan de verspreiding van emissies bij tunnelmonden plaats heeft. Hiertoe is het deelonderzoek K2 uitgevoerd.

Tot zover de motivatie voor het onderhavige COB-onderzoek zoals deze gold ten tijde van de start van dit onderzoek eind 2007. Lopende het COB-onderzoek hebben zich echter in 2009 twee belangrijke feiten voorgedaan. Ten eerste verleende Brussel Nederland op 7 april 2009 derogatie, zodat Nederland op een later tijdstip aan de grenswaarden voor fijn stof en stikstofdioxide mag voldoen. Met uitzondering van de regio Heerlen/Kerkrade (waarvoor ten aanzien van stikstofdioxide de uitsteltermijn 1 januari 2013 geldt) wordt dat 11 juni 2011 voor fijn stof en 1 januari 2015 voor stikstofdioxide. Ten tweede heeft het kabinet op 1 augustus 2009 het Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL) vastgesteld. De projecten A4 Delft-Schiedam en Schiphol-Amsterdam-Almere zijn opgenomen in het NSL. Dit betekent dat voor deze projecten niet meer de vraag centraal staat of deze projecten wel voldoen aan de grenswaarden voor de luchtkwaliteit, maar het er veeleer nu om gaat aan te tonen dat deze projecten op een goede wijze zijn opgenomen in het NSL. Een vraagstelling die buiten het kader van het onderhavige COB-onderzoek valt. Beide voltrokken feiten roepen de legitieme vraag op wat dan nog de relevantie is van het COB-onderzoek. Belangrijker echter is te beseffen dat, ongeacht de inhoud en looptijd van het NSL, er nog steeds sprake is en vooralsnog voorlopig ook zal blijven van verhoogde verkeersemissies vanuit een tunnel. De bijdrage van de weg (inclusief de emissie uit de tunnel), zo bleek uit de uitgevoerde veldmeting bij de Wijkertunnel aan de totale concentratie is voor stikstofdioxide circa $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dat is significant hoger dan veel voorkomende verkeersbijdragen langs de open weg. Dat maakt een tunnelmondsituatie voor luchtkwaliteit in principe kwetsbaar, ook binnen het kader van het NSL. Dit blijkt bijvoorbeeld al uit het feit dat voor een aantal stedelijke en lokale wegtunnels (die onder SRM1 vallen) binnen het kader van het NSL nog knelpunten opleveren en die nog moeten worden opgelost. Daarnaast zijn er nieuw geplande tunnels die niet in het NSL zijn vermeld en die daarmee ofwel alsnog moeten worden opgenomen ofwel een aparte procedure moeten doorlopen. Vanwege de significant hogere verkeersbijdrage blijven tunnelmonden daarnaast ook kwetsbaar vanuit het perspectief van gezondheid. Een achterblijvende trend van een thans nog door het Planbureau voor de Leefomgeving voorspelde daling in de achtergrondconcentraties voor met name de jaargemiddelde concentraties stikstofdioxide en de etmaalgemiddelde concentraties fijn stof zal in combinatie met de relatief hoge verkeersbijdrage een gewenste situatie (concentraties ver onder de geldende grenswaarden) snel kunnen doen laten omslaan naar een ongewenste situatie (concentraties net onder of boven de geldende grenswaarden). Een dergelijke ontwikkeling zal overigens ook het aantal knelpunten bij tunnelmonden binnen het NSL snel laten toenemen. Daarnaast zijn er bij tunnels in stedelijk

gebied ook nog andere aspecten waarmee rekening moet worden gehouden. Het is dan ook van belang te blijven streven naar het verkrijgen van een zo nauwkeurig mogelijk inzicht in de luchtkwaliteit nabij tunnelmonden. Dit geldt in relatie tot de grenswaarden binnen de systematiek van het NSL (wel of niet overschrijding), maar zeker ook in relatie tot gezondheid (wel of niet een aanvaardbaar woon- en leefklimaat in de nabijheid van tunnelmonden in stedelijk gebied).

Of ter plaatse van tunnelmonden in de komende jaren wel of niet grenswaarden voor fijn stof of voor stikstofdioxide zullen worden overschreden zal in sterke mate afhangen van het welslagen van het generieke (bron)beleid dat aan het NSL ten grondslag ligt en dat er voor moet zorg dragen dat de achtergrondconcentraties substantieel zullen gaan dalen. De monitoring van het NSL zal zicht op deze ontwikkeling bieden. Mochten de monitorresultaten tegenvallen, dan zullen tunnelmonden, zoals hierboven al gesteld, (wederom) als knelpunt-situaties naar boven komen. Dit kan er toe leiden dat, afhankelijk van de verdere ontwikkeling van deze belangrijke kengetallen, ook binnen de NSL-systematiek specifieke projectgerichte maatregelen bij tunnelmonden moeten worden genomen om de luchtkwaliteit ter plaatse beheersbaar te houden. De nieuwe achtergrond-concentraties en emissiefactoren zoals in april 2010 gepubliceerd en die "tegenvielen" in vergelijking met de cijfers uit 2009 laten zien dat er nog geen zekerheid is over hoe de voorspelde trend van een daling van met name achtergrondconcentraties zich de komende jaren zich exact gaat voltrekken.

Er zal moeten worden beseft dat luchtkwaliteit bij tunnelmonden bestuurlijk en maatschappelijk vanuit met name het aspect van gezondheid als een relevant issue zal worden blijven beschouwd, al was het alleen maar op basis van de in de afgelopen jaren gepubliceerd luchtonderzoek en waarin de luchtkwaliteit bij tunnelmonden als een fors probleem naar voren is gebracht. De maatschappelijke en bestuurlijke betrokkenheid bij de lucht-problematiek bij tunnelmonden lijkt vooralsnog van blijvende aard te zijn.

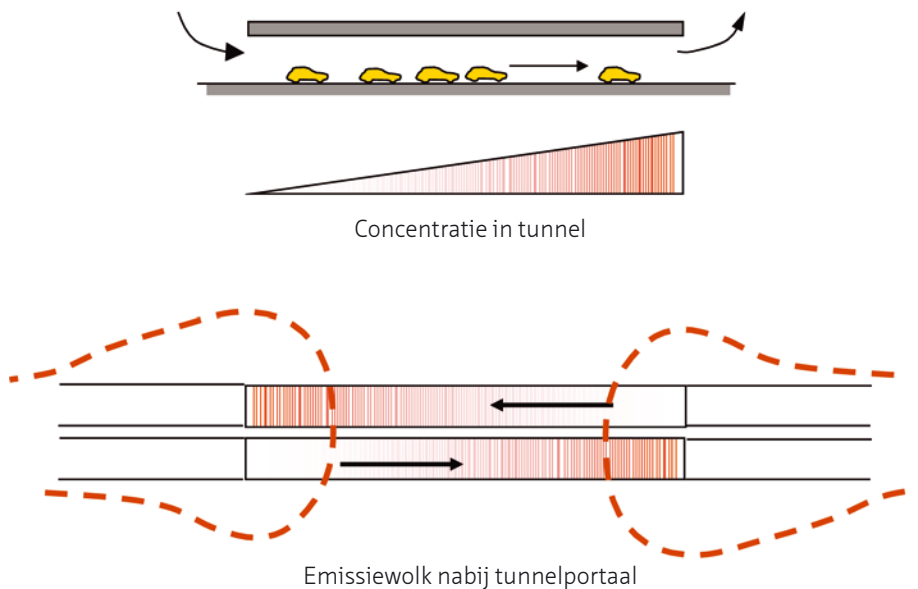
Het verkrijgen van een zo nauwkeurig mogelijk inzicht in de luchtkwaliteit en in de maatregelen voor beheersing of verbetering van deze luchtkwaliteit bij tunnelmonden zal dus van belang blijven. Vanuit het politieke en maatschappelijke domein zal voor specifieke tunnelmondsituaties de vraag gesteld blijven worden om in het kader van een ruimtelijke afweging een specifieke tunnelmondsituatie aan een nader onderzoek te onderwerpen, in het bijzonder als hier ook concrete belangen om vragen.

Het COB-onderzoek blijft dus ongeacht de bestuurlijke ontwikkelingen relevant. Het geeft op basis van verder te ontwikkelen rekenmodellen, op basis van resultaten van een veldmeting en op basis van resultaten van windtunnelonderzoek een aanzet en daarmee ook perspectief tot het komen van een meer nauwkeurig inzicht in de luchtkwaliteit bij tunnelmonden en het op grond van hiervan tot het treffen van effectieve maar ook kosteneffectieve maatregelen ter beheersing of verbetering van de luchtkwaliteit ter plaatse. Alle bij de luchtkwaliteit bij tunnelmonden betrokken partijen, zowel binnen als buiten het directe kader van het NSL, hebben hierbij belang.

3 Verhoogde concentraties bij tunnelportalen

De reden dat bij uitgangen van tunnels verhoogde concentraties kunnen voorkomen wordt hier eerst uitgelegd.

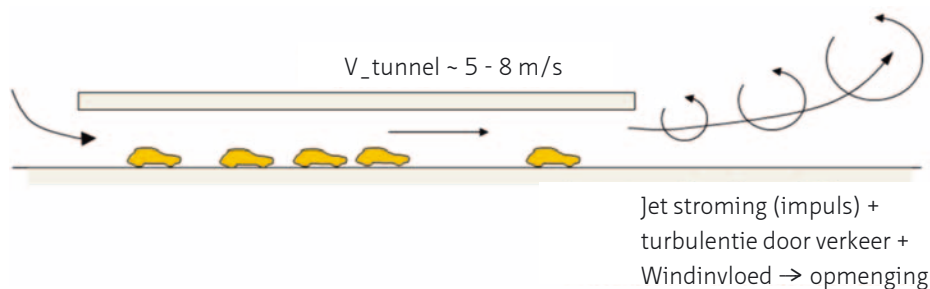
In een tunnelbuis met éénrichting verkeer wordt door de zuigerwerking van het rijdende verkeer in principe een luchtstroom opgewekt in rijrichting van het verkeer. Terwijl voertuigen door de tunnel rijden voegen zij voertuigemissie toe aan de luchtstroom, waardoor de concentraties van NO_x, NO₂ en PM₁₀ (fijn stof) vanaf de tunnelingang naar de tunneluitgang steeds meer toenemen (zie Figuur 1).



Figuur 1 Verloop concentraties voertuigemissie in een tunnel met 2 buizen met elk 1-richting verkeer

Door het rijdende verkeer wordt in de tunnelbuis een luchtstroming opgewekt die een aanzienlijke impuls heeft. Daardoor zet de luchtstroom zich ook buiten het portaal nog een stuk door in de omgeving en er treedt een jetstroming op. Men kan zich voorstellen dat de wijze waarop dat gebeurt afhankelijk is van de vormgeving van het tunnelportaal, geleiding door zijwanden langs de aansluitende weg en door de wind.

Het rijdende verkeer wekt ook een zekere turbulentie op in de lucht buiten de tunnel, waardoor vermenging van lucht uit de tunnel en omgevingslucht optreedt. Ook de wind draagt bij aan de turbulentie. Dat resulteert in verdunning van de concentraties in de lucht buiten de tunnel.



Figuur 2 Impuls in de stroming en turbulentie

Volgens de wetgeving inzake tunnelveiligheid is 2-richting verkeer in een tunnelbuis in principe niet toegestaan. Voor onderhoudssituaties en tijdelijke situaties kan met een ontheffing 2-richting verkeer worden toegestaan, maar dit heeft altijd een tijdelijk karakter. Dergelijke situaties zullen in luchtkwaliteitsonderzoeken meestal dus niet voorkomen.

In een tunnelbuis met 1-richting verkeer kan de concentratie aan het einde van de tunnelbuis oplopen tot enige honderden microgram per kubieke meter, zowel voor NO_2 als voor fijn stof PM_{10} . Dat kan overschrijdingen van de luchtkwaliteitsnormen nabij een tunnelportaal veroorzaken. Gelukkig zijn deze overschrijdingen veelal binnen enkele 10-tallen meters al factoren gedaald en is de invloed van een tunnelmond meestal beperkt tot een gebied dat niet groter is 100 – 300 m rondom het uitgangsportaal.

De concentratie rondom een tunnelportaal kan als volgt worden voorgesteld:

De concentratie bij de uitgang is afhankelijk van de emissie door het verkeer in de tunnel en de luchtstroom in de tunnel:

$$\frac{\text{produktie door verkeer}}{\text{luchtstroom in de tunnel}} = \text{Concentratie bij tunneluitgang}$$

Buiten het tunnelportaal wordt de emissie naar de omgeving verspreid waarbij verdunning optreedt. Van in-vloed hierop is de vorm van het tunnelportaal. Daarnaast spelen wind en verkeersbewegingen een actieve rol:

$$\text{Concentratie bij tunneluitgang} \xrightarrow{\substack{\text{verdunning door wind} \\ \text{en verkeersbewegingen}}} \text{Concentratiebijdrage in omgeving}$$

Behalve door wind in verkeersbewegingen wordt de concentratie in de omgeving tevens bepaald door een combinatie van verschillende omstandigheden en factoren die in de tijd variëren. Daarom is de concentratiebijdrage in de omgeving tijdsafhankelijk. De tijdsafhankelijke concentraties kunnen tot uur-, dag- en jaargemiddelden worden omgerekend. Omdat t.b.v. de berekening van het jaargemiddelde het verloop in de tijd wordt bepaald kan ook worden bepaald hoe vaak de concentratie een bepaalde grenswaarde overschrijdt.

Bij de berekening van de jaargemiddelde concentratie worden diverse invloedfactoren in rekening gebracht, zoals wind, temperatuur, zoninvloed, verkeers en andere invloeden. De omzetting naar jaargemiddelde waarden geschiedt in principe in 2 stappen. Eerst wordt de concentratie op een receptorpunt bepaald voor verschillende combinaties van invloedfactoren waaronder windsnelheid en windrichting. Vervolgens wordt gekeken hoe vaak elke combinatie van factoren voorkomt en wordt door een statistische bewerking de jaargemiddelde concentratie berekend als gewogen gemiddelde van de windrichting-snelheid klassen. Hieruit kan ook worden bepaald hoe vaak de grenswaarde wordt overschreden.

De diverse invloedsfactoren in de berekening zijn als volgt te beschrijven:

- **Productie door verkeer:** de emissie door het verkeer wordt bepaald door de verkeerssamenstelling, -intensiteit, -rijdsnelheid, rijgedrag, (vastgestelde) emissie-kengetallen, lengte van de tunnelbuis en langs hellingen in de tunnel.
- **Luchtstroom in de tunnel:** de grootte van de luchtstroom in de tunnel wordt beïnvloed door de aandrijvende of remmende kracht die het verkeer op de lucht in de tunnel uitoefent, luchtweerstand in de tunnel, windinvloeden en mechanische tunnelventilatie. De aandrijvende of remmende kracht die het verkeer op de lucht in de tunnel uitoefent wordt bepaald door verkeerssamenstelling, verkeersintensiteit, rijdsnelheid en lengte en doorsnede van de tunnelbuis.
- **Verdunning:** de verdunning in de omgeving van een tunnelportaal hangt af van de uittredesnelheid van de luchtstroom uit de tunnel, de vorm van het tunnelportaal, de hoogteligging en helling van de aansluitende weg, de vorm en inrichting van de omgeving van het tunnelportaal en de interactie van de luchtstroom uit de tunnel met de wind.
- **Windinvloed:** behalve richting en windsnelheid zijn ook van belang de turbulentiegraad in de lucht, objecten zoals schermen, gebouwen, de weghoogte t.o.v. maaiveld.
- **Thermische effecten:** Bij lange tunnels treedt opwarming van de tunnellucht op, afhankelijk van de buitentemperatuur kan hiermee buiten de tunnel een thermische trek ontstaan die al dan niet bijdraagt aan de verdunning.
- **Concentraties buiten de tunnel:** behalve de bijdrage vanuit de tunnel moeten ook de bijdragen vanwege de aansluitende weg, vanwege eventuele andere bronnen nabij het tunnelportaal en de achtergrondconcentratie meegerekend worden.

Voor NO_2 is daarenboven op te merken:

- Behalve de directe uitstoot van NO_2 via de uitlaat ontstaat in de tunnel extra NO_2 door chemische reacties tussen NO_x en ozon (O_3). Bij langere tunnels blijft de omzetting beperkt omdat op een zeker moment er te weinig ozon in de luchtstroming in de tunnel resteert om nog NO_x tot NO_2 om te zetten.
- Buiten de tunnel is bij bepaalde weersomstandigheden wederom voldoende ozon beschikbaar, de reactie $\text{NO}_x \rightarrow \text{NO}_2$ komt dan buiten de tunnel opnieuw op gang en draagt extra bij aan NO_2 -concentraties.

Voor PM10 is daarenboven op te merken:

- De vorming van PM10 blijkt een complex proces te zijn waarbij deeltjes als condensatiekern kunnen optreden en door adsorptie en condensatie kunnen groeien. In hoeverre deze processen in een tunnel hetzelfde verlopen als in de buitenlucht is onbekend (bv eventuele rol van ultraviolet licht). Zelfs de processen in de buitenlucht zijn tot op heden niet volledig bekend, zodat dit in een tunnel helemaal moeilijk te beschrijven valt.
- De goede contactmogelijkheden in een tunnelbuis kunnen voor een verhoogde depositie zorgen, waardoor de emissie van PM10 uit de tunnel lager is dan verwacht op basis van emissiekengetallen. Hierbij kunnen de vochtigheid, temperatuur, de ruwheid en het schoonmaakregime genoemd worden als belangrijke variabelen.

4 K1: Literatuuronderzoek

4.1 Aanleiding

De laatste 15 - 20 jaar is zowel in Nederland als in verschillende delen van de wereld onderzoek gedaan naar de wijze van verspreiding van emissies uit tunnelportalen, de invloed van sleuven en spleten in daken en wanden van "landtunnels" en de invloed van schermen langs de op het tunnelportaal aansluitende weg. Deze onderzoeken bestaan uit schaalmodelmetingen, ontwikkeling van (simpele) rekenmodellen of grafiekmethoden, CFD-simulaties e.d. In Nederland zijn verschillende metingen aan schaalmodellen van tunnels en ondergrondse wegen uitgevoerd. De resultaten van deze onderzoeken waren niet gebundeld en verdeeld over verschillende partijen en daardoor niet direct toegankelijk.

4.2 Doelstelling

Het doel van het literatuuronderzoek was zowel binnenlandse als buitenlandse kennis te verzamelen over de wijze waarop aan verspreiding van verkeersemissies in tunnelmonden wordt gerekend. De kennis betreft rekenmethoden, rekenmodellen, data van schaalmodelproeven en resultaten van metingen in praktijk. Tevens moest informatie worden verzameld over de effecten van passieve maatregelen bij tunnelportalen op de verspreiding van emissies uit een tunnelportaal. Doel was voor zover mogelijk deze kennis te verzamelen en toegankelijk te maken op zo'n manier dat deze kan worden gebruikt voor het beoordelen van bestaande bepalingmethoden en zo nodig het verbeteren van bestaande rekenmethoden of ontwikkelen van nieuwe rekenmethoden voor verspreiding van verkeersemissies uit tunnelportalen. De gevonden kennis uit verschillende bronnen zou – voor zover mogelijk – met elkaar in verband moeten worden gebracht, tegen elkaar zijn afgewogen en worden beoordeeld.

4.3 Rekenmethoden en rekenmodellen

4.3.1 Nederlandse rekenmethoden en rekenmodellen

Gestart is met een inventarisatie van de Nederlandse rekenmethoden en rekenmodellen. De in Nederland gebruikte rekenmodellen moeten alle zijn gebaseerd op SRM1 of SRM2 conform de vigerende Regeling Beoordeling Luchtkwaliteit 2007. Berekeningen aan schoorstenen kunnen zijn gebaseerd op SRM3.

SRM1 kan worden toegepast voor situaties waarbij vrij dicht op de tunnel bebouwing aanwezig is – daardoor is SRM1 veelal van toepassing in stedelijke situaties. De aangenomen bebouwingsafstand is in de orde van 30 – 60 meter. Verder mag er bij gebruik van SRM1 geen of weinig hoogteverschil tussen de weg en de omgeving zijn en er kunnen geen afscherpende constructies zoals schermen langs de weggkant aanwezig zijn. Verdiept liggende tunnels voldoen niet aan deze criteria zodat SRM1 dan niet of niet goed toepasbaar is.

SRM2 kan worden toegepast voor tunnels in open terrein – dat is veelal buiten het stedelijke gebied maar SRM2 kan afhankelijk van de directe omgeving van de tunnel even goed in stedelijk gebied van toepassing zijn. In principe moet de weg op of boven maaiveld

liggen, maar in de berekening is voorzien in een eenvoudige correctie factor waarmee een verdiepte ligging wordt benaderd. SRM2 is daarmee toepasbaar voor tunnels hoewel in stedelijk gebied in sommige situaties misschien niet wordt voldaan aan de in SRM2 vereiste bebouwingsafstand tot de tunnel.

In de rekenmethoden SRM1 en SRM2 is een zekere benadering van de impulswerking uit het tunnelportaal opgenomen. De interactie tussen wind en de luchtstroming uit de tunnel is niet opgenomen. Dat blijkt uit de aanname van een constante bronsterkte van de verkeersemisies na het uitgangsportaal over een lengte die afhankelijk is van de rijrichting en verkeerssnelheid en tot 20m, 50m of 100m vanaf het uitgangsportaal reikt. Temperatuurverschillen tussen tunnellucht en omgeving, zich over een etmaal wijzigende combinatie van omstandigheden en de voor tunnels specifieke chemische en fysische reacties van verkeersemisie niet opgenomen.

Bij de berekeningen volgens SRM2 moet een ruwheidsfactor van de omgeving worden opgegeven. De ruwheids-factor is een maat voor de oppervlakte weerstand en beïnvloed daarmee de verspreiding. De uitkomst van de berekeningen blijkt tamelijk gevoelig voor de keuze van de ruwheidsfactor.

Bij tunnelmonden kan de keuze van de ruwheidsfactor tot afwijkende resultaten leiden. De ruwheidsfactoren zijn in RBL2007 qua waarde voorgeschreven en moeten worden gekozen op basis van de ruwheidskaart van VROM (bron: KNMI). Deze is maatgevend voor een bepaald gebied rond de te berekenen locatie – dit gebied is groot t.o.v. de lokale omgeving van een tunnelmond. Voor de emissieverspreiding is de ruwheid van het terrein in de eerste kilometer aan de loefzijde bepalend en is de lokale ruwheid van belang. In de berekeningen wordt echter gerekend met de gemiddelde ruwheid van de omgeving. Daarom kan het toepassen van de ruwheidskaart van VROM in bepaalde situaties tot afwijkende resultaten leiden.

Rekenmodellen op basis van SRM1, SRM2 en SRM3 worden door VROM getoetst en mogen in officiële luchtkwaliteitsonderzoeken alleen worden gebruikt wanneer ze door VROM zijn goedgekeurd. De door VROM goedgekeurde rekenmodellen zijn vermeld op de website van VROM. In het literatuuronderzoek K1 wordt een beschrijving gegeven van de per publicatiedatum van dit rapport goedgekeurde rekenmodellen.

4.3.2 Buitenlandse rekenmethoden en rekenmodellen

Er blijken wereldwijd drie op tunnelportalen toegespitste rekenmethoden beschikbaar zijn, twee Japanse modellen en één uit Oostenrijk. De Japanse modellen zijn van respectievelijk het Japanse “Ministry of Construction” en van Japan Highway Public Corporation (JHPC). Het Oostenrijkse model GRAL is in opdracht van de Oostenrijkse overheid ontwikkeld aan de TU Graz – in eerste instantie voor open wegen maar later is een module specifiek voor tunnels toegevoegd.

De Japanse rekenmodellen gaan uit van formules voor dispersie en windinvloed welke zijn gebaseerd op Gaussi-sche vergelijkingen voor een pluim model. Een Gaussisch model gaat uit van een normale verdeling van de dispersie in de pluim en bepaalt zo de concentratie als functie van de afstand tot de bron bij gegeven windsnelheid en bronsterkte.

Het GRAL model uit Oostenrijk is gebaseerd op Lagrange-vergelijkingen. Een Lagrangiaanse modelbenadering volgt de stroomlijnen in plaats van te kijken naar de stroomeigenschappen per locatie zoals in de Gaussische benadering wordt gedaan. In GRAL worden vanaf verschillende (willekeurig gekozen) punten in de tunnelmond de stroom gevolgd. De concentratie op grotere afstand volgt dan uit de dichtheid van de stroomlijnen. De paden die de stroomlijnen volgen worden bepaald door hoe de stroom de tunnel uitkomt en de lokale meteorologische omstandigheden. Om uitspraken over de concentraties te kunnen doen moeten er statisch significante streekproeven genomen, al snel zo'n 10.000. Als rekenmethode staat die qua complexiteit dus tussen Gaussisch en CFD in.

Een gemeenschappelijk kenmerk van deze modellen is dat rekening wordt gehouden met de jetstroom van de lucht uit het tunnelportaal en de interactie van deze jetstroom met de wind. Men doet dat als volgt. De emissie uit de tunnel op de aansluitende weg wordt gemodelleerd door middel van een aantal puntbronnen of lijnbronnen. De bronsterkte hiervan is afhankelijk van de verhouding tussen de windsnelheid en de luchtsnelheid uit het tunnelportaal: Wanneer de luchtsnelheid uit de tunnel minder dan 2-maal de windsnelheid is dan wordt de bronsterkte als constant aangenomen, in andere gevallen neemt de bronsterkte af naarmate de afstand tot het tunnelportaal groter is. De lengte waarover de emissiebronnen worden aangenomen is afhankelijk van de verkeerssnelheid, de windsnelheid, de vorm van het tunnelportaal en de hoogteligging van de weg. Bij het GRAL-model wordt behalve met de jetstroom in de berekeningen ook rekening gehouden met de invloed van thermische trek van de lucht uit het tunnelportaal ofwel het temperatuurverschil tussen de lucht uit de tunnel en de omgevingslucht.

Zowel uit berekeningen als uit praktijkmetingen blijkt dat het tunnelmondeffect meestal beperkt blijft tot een gebied dat niet groter is dan 100-300 rondom het uitgangsportaal. De emissies blijken daarbij veelal binnen 100 m vanaf het tunnelportaal te zijn gedaald tot minder dan 10% van de concentraties in of vlakbij het tunnelportaal.

In diverse literatuur wordt opgemerkt dat reacties van of tussen o.a. NO, NO₂ en PM10 kunnen leiden tot afwijkingen indien geen rekening wordt gehouden met de specifieke omstandigheden in en net buiten een tunnel. Ook wordt een combinatie van zaken als windinvloed, invloed van zonnestraling en het actuele verkeersbeeld die over de dag zullen wijzigen genoemd als sterke invloed op het resultaat. Daaruit kan blijken dat het gebruik van statistische gemiddelden voor wind- en temperatuurklimaat en voor verkeersgegevens in berekeningen en in schaalmodelmetingen tot concentraties kunnen leiden die substantieel afwijken van concentraties als gemeten in het vrije veld. Doorgaans worden alleen de jaargemiddelde concentraties fijn stof en stikstofstofdioxide en de etmaalgemiddelde concentraties fijn stof berekend. Daarbij worden dan vaak de gegevens van windsnelheid en windrichting, gemiddelde invloed van het weer op de vorming van NO₂ en de wijze van verspreiding uit het portaal gebaseerd op een gemiddeld verkeers-aanbod met elkaar gecombineerd. Door deze handelwijze worden combinaties in de beschouwing meegenomen die in praktijk niet voorkomen en andere combinaties juist minder sterk in de berekening betrokken. Ter illustratie: Tijdens de ochtendpiek is er geen "gemiddeld" verkeer, maar een verhoogd verkeersaanbod met een veel lager vrachtwagenaandeel dan gemiddeld. Dat beïnvloedt zowel de emissieproductie als de pluimwerking vanuit het tunnelportaal. Tegelijkertijd is er in Nederland 's ochtends vaak minder wind dan gemiddeld waardoor de verspreiding minder is dan gemiddeld. Maar 's

ochtends is ook de invloed van de zon op de vorming van NO_2 minder dan overdag. Uit dit voorbeeld blijkt dat voorzichtigheid geboden is in het combineren van "gemiddelde" gegevens. Volgens buitenlandse literatuur zou hier rekening mee gehouden moeten worden.

4.4 Schaalmodelmetingen

Bij vrijwel alle nieuw gebouwde of nieuw te bouwen tunnels in Nederland vanaf circa 1995 is schaalmodel onderzoek gedaan naar de effecten van de verkeersemisatie in de omgeving. Doel van deze metingen was om de concentraties in de omgeving van de tunnelmonden te bepalen en daarvoor is de wijze van verspreiding gemeten. De uitvoering van de schaalmodelonderzoeken verschilt van project tot project, onder andere in het aantal varianten per project, het aantal gemeten receptorpunten en uitgangspunten qua luchtstroom uit de tunnel. De meeste windtunnelmetingen aan tunnelmonden zijn ofwel door Peutz ofwel door TNO uitgevoerd. De door beide instanties gebruikte methode is door het ministerie van VROM in het kader van de Regeling beoordeling luchtkwaliteit 2007 (artikel 72) goedgekeurd. Dit betreft echter alleen de werking van de windtunnel zelf en de wijze waarop deze wordt gebruikt. Niet vastgelegd is bijvoorbeeld aan welke voorwaarden een schaalmodel zelf moet voldoen, hoeveel meetpunten moeten worden gebruikt en waar deze moeten zijn geplaatst.

In Nederland wordt de door het rijdende verkeer geïnduceerde turbulentie meestal, vanuit kostenoverwegingen, via een rekenkundige nabewerking van de meetgegevens verdisconteerd. De door het rijdende verkeer geïnduceerde turbulentie is gebaseerd op expert judgement.

In enkele buitenlandse schaalmodelonderzoeken wordt de door het rijdende verkeer geïnduceerde turbulentie via een lopende band met voor voertuigen representatieve blokjes gesimuleerd. Ook hier geldt echter dat een aanname moet worden gemaakt ten aanzien van de door het rijdende verkeer geïnduceerde turbulentie.

Gesteld kan worden dat het hier een belangrijke aanname betreft. Zowel de mate van opgewekte turbulentie in de luchtstroom als de omvang van de impuls van de uit de tunnel uittredende lucht worden hierdoor beïnvloed. Juist deze impuls, de interactie met de wind en de ligging van de weg (al dan niet verdiept) zijn bepalend voor de lengte van de pluim. Er kan gezien de grote onzekerheid van verkeersturbulentie echter niet op voorhand aangenomen worden dat de gemodelleerde turbulentie te prefereren is boven de statistische nabewerking.

Nader aandacht verdient de wijze waarop resultaten van schaalmodelproeven kunnen worden geïntegreerd in resultaten van luchtberekeningen. Voorwaarde daartoe is dat voldoende receptorpunten worden bepaald om tot integratie met rekenresultaten te kunnen overgaan. Overigens kan met een relatief beperkt aantal receptorpunten een voldoende betrouwbare interpolatie worden uitgevoerd. Integratie met berekeningen is vooral van belang bij situaties waar grenswaarden worden of dreigen te worden overschreden, zodat de resultaten van het windtunnelonderzoek kunnen worden gebruikt voor de berekening van de overschrijdingsoppervlak en het aantal blootgestelden binnen dat overschrijdingsoppervlak.

Het is niet gebruikelijk om in windtunnelonderzoek de concentratiecoëfficiënten en verdunningsfactoren te publiceren. Het verdient aanbeveling om deze te verzamelen voor de windtunnelonderzoek zoals de afgelopen jaren uitgevoerd. Daarmee wordt een dataset verkregen dat kan bijdragen aan het in dit rapport als wenselijk gesteld perspectief dat ongeacht de methode de voor een specifieke (tunnelmond)locatie berekende of met windtunnel gemeten concentraties (inclusief de effecten van maatregelen) zich binnen een aanvaardbare bandbreedte verhouden ten opzichte van concentraties die in het veld zouden zijn gemeten.

4.5 Metingen in praktijk

Binnen het literatuuronderzoek zijn – ondanks intensief speurwerk – slechts 2 duidelijk beschreven metingen in praktijk gevonden. Dat lijkt te indiceren dat wereldwijd slechts sporadisch uitgebreide metingen rondom tunnelportalen zijn verricht. De gevonden literatuur beschrijft een meting in Japan (Tokyo Port Tunnel, 1994) en in Frankrijk (Croix Rousse tunnel, 1997).

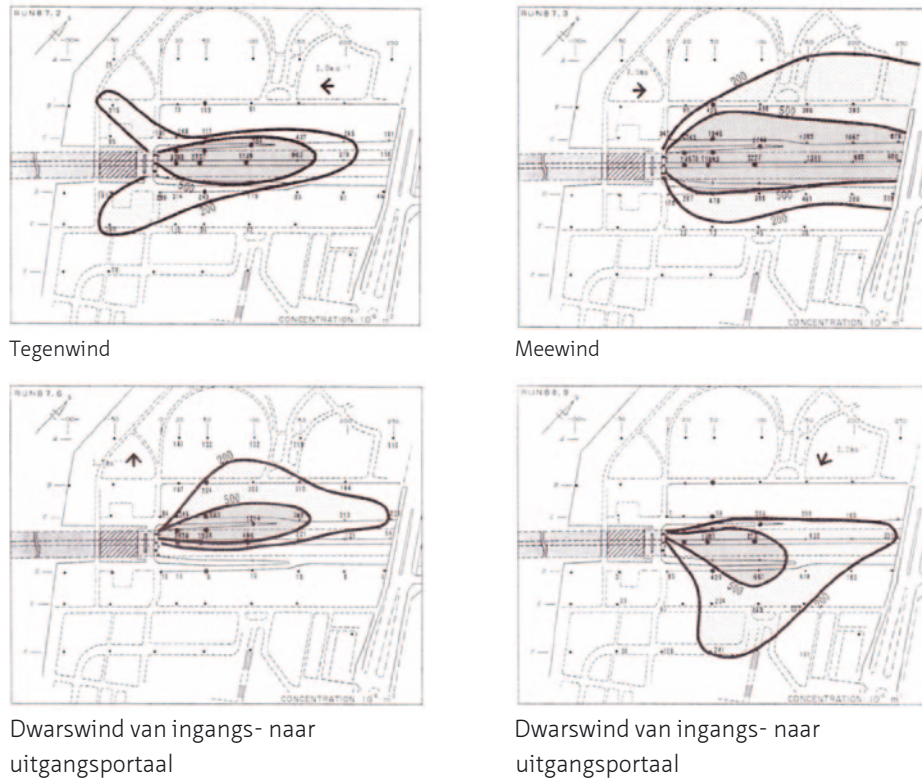
Tokyo Port Tunnel

De Tokyo Port Tunnel is een onderwater tunnel in de havens van Tokyo, de ligging van de portalen is verdiept t.o.v. het omringend maaiveld en de omgeving rondom de tunnelportalen is open. Er zijn 23 verschillende metingen uitgevoerd waarvan 3 met weinig wind en 20 met wind. De meetpunten waren langs de wegwand gesitueerd op 1,5m boven maaiveld en op de afstanden 20, 50, 100, 150, 200 en 250m vanaf het portaal. Daarmee liggen de eerste meetpunten dus in de verdiepte bak. De metingen bij de Tokyo Port Tunnel zijn uitgevoerd met behulp van tracergas (SF₆).



Figuur 3 Situatie bij portalen van de Tokyo Port Tunnel

Op basis van de metingen zijn contourlijnen berekend van de verspreiding van emissie bij het tunnelportaal onder verschillende wind omstandigheden. De gemeten concentratieprofielen zijn voor verschillende windrichtingen weergegeven in Figuur 4.



Figuur 4 Concentratieprofielen op 1,5m hoogte boven maaiveld bij portalen van de Tokyo Port Tunnel

Men heeft van de tunnel ook een schaalmodel in een windtunnel beproefd. De praktijkmetingen en de windtunnelmetingen zijn met elkaar vergeleken en de meetresultaten bleken zeer dicht in de buurt van elkaar te liggen (afwijkingen minder dan 10%).

Croix Rousse tunnel

De Croix Rousse tunnel is in Lyon, Frankrijk. De tunnel ligt in stedelijk gebied, heeft 2 richting verkeer in dezelfde buis en heeft een gesloten lengte van 1782 meter. Er passeren per dag ca. 60.000 voertuigen, de toegelaten snelheid is 50 km/uur. De situatie bij het tunnelportaal is weergegeven in Figuur 5.

Er zijn metingen van NO_x, NO, NO₂ en CO uitgevoerd. Aangezien het hier om een tunnel gaat met 2-richtingverkeer in één buis is er sprake van een ander uitstroompatroon dan dat bij 1-richtingverkeer per buis optreedt. Uit de metingen is gebleken:

- De verontreiniging vervliegt zeer snel buiten de tunnelmond. Men constateert in zekere gevallen zelfs een zekere verdunning in de tunnel tot over tientallen meters van de tunnelmond. Dit wordt veroorzaakt doordat naar binnen rijdend verkeer verse lucht mee naar binnen sleept.
- Buiten de tunnel op 3 meter zijwaarts van de uitstroom (ca. 3m vanaf de wegrand, dus op het voetpad) meet men wel een gevoeligheid voor de invloed van de tunnel maar de vervuilingniveaus zijn reeds gereduceerd met een factor 3 tot 4 ten opzichte van de concentratie in de directe uitstroming.

- Gemeten op 20 meter afstand vanaf het portaal en vlak langs de weg is de invloed van de uitgaande rijstroken uit de tunnel praktisch nihil. De gemeten concentraties NO₂/NO_x liggen in de orde van de achtergrondconcentraties.
- Op meetposities welke zeer dicht bij het tunnelportaal en boven en naast de ingaande rijbanen (dus buiten de directe stroming uit de tunnel) zijn gesitueerd wordt geen invloed van de luchtstroom van de tunnel gemeten noch een verhoging van de concentraties t.o.v. de achtergrondconcentratie.



Figuur 5 Tunnel de la Croix Rousse Lyon - Oostelijk tunnelportaal

Resultaten

De metingen bevestigen de indruk dat er een jetstroming is vanuit een tunnelportaal en dat deze interfereert met de wind. Dat blijkt Ook blijkt dat de concentraties binnen korte afstand van het tunnelportaal en buiten de zone van jetstroming (100 – 200m) sterk afnemen. Dat blijkt vooral uit de metingen aan de tunnel in Japan. De metingen aan de tunnel in Frankrijk geven aan dat bij een tunnel met 2-richting verkeer en een relatief lage verkeerssnelheid het invloedsgebied tot ca. 20m buiten de tunnel rijkt.

Uit de resultaten kan ook worden afgeleid dat voor berekening een voldoende nauwkeurig grid en voor een me-ting voldoende receptor/meetpunten moeten worden gehanteerd om de optredende steile gradiënten in een tunnelmond goed in beeld te krijgen.

Voor meer informatie wordt verwezen naar hoofdstuk 9.1 van het literatuuronderzoek.

4.6 Invloed passieve maatregelen

Er zijn geen gegevens gevonden die specifiek de invloed van passieve maatregelen anders dan luchtschermen beschrijven. De invloed van de toepassing van luchtschermen is opgenomen bij de resultaten van schaalmodelmetingen.

4.7 Beschouwing van de resultaten

Uit de resultaten blijkt dat in de wereld diverse op tunnelportalen toegespitste rekenmodellen beschikbaar zijn. Een gemeenschappelijk kenmerk van deze modellen is dat rekening wordt gehouden met de jetstroom van de lucht uit het tunnelportaal en de interactie van deze jetstroom met de wind. Voorts wordt in diverse literatuur ook de invloed van thermische trek van de lucht uit het tunnelportaal genoemd.

De emissie uit de tunnel op de aansluitende weg wordt in de op tunnels toegespitste rekenmodellen gemodelleerd door middel van een aantal puntbronnen of lijnbronnen. De bronsterkte is afhankelijk van de verhouding tussen de windsnelheid en de luchtsnelheid uit het tunnelportaal: Wanneer de luchtsnelheid uit de tunnel minder dan 2-maal de windsnelheid is dan wordt de bronsterkte als constant aangenomen, in andere gevallen neemt de bronsterkte af naarmate de afstand tot het tunnelportaal groter is. De lengte waarover de emissiebronnen worden aangenomen is in buitenlandse rekenmethoden afhankelijk van de verkeerssnelheid, de windsnelheid, de vorm van het tunnelportaal en hoogteligging van de weg.

In een rapport uit Australië (Air Quality in and Around Traffic Tunnels, Australian Government, National Health and Medical Research Council, Australia, 2008) wordt opgemerkt dat chemische en fysische reacties van o.a. NO, NO₂ en PM10 zouden kunnen leiden tot aanzienlijke afwijkingen indien geen rekening wordt gehouden met de specifieke omstandigheden in en net buiten een tunnel. In dezelfde publicatie wordt de combinatie van zaken als windinvloed, invloed van zonnestraling en het actuele verkeersbeeld die over de dag zullen wijzigen genoemd als een "sterke" invloed op het resultaat. Daaruit zou men kunnen afleiden dat in rekenmodellen niet volstaan kan worden met een klasse-indeling van het wind- en temperatuurklimaat en met gemiddelde waarden voor verkeersgegevens maar dat uurlijkse berekeningen nodig zijn waarin rekening wordt gehouden met de specifieke combinaties van omstandigheden.

Bij beschrijvingen van rekenmodellen en de toetsing ervan wordt veelal opgemerkt dat rekenmodellen helpen om een eerste indruk te verkrijgen en varianten tegen elkaar af te wegen, maar dat voor gedetailleerde studies – d.w.z. het concentratieverloop binnen enkele tientallen meters van het tunnelportaal – schaalmodelmetingen in een windtunnel nodig kunnen zijn.

Vrijwel alle rekenmodellen gaan uit van zekere formules voor dispersie en windinvloed welke vooral zijn gebaseerd op Gaussische vergelijkingen voor een pluim model. Het GRAL model uit Oostenrijk is gebaseerd op Lagrange-vergelijkingen. Een Lagrangiaanse modelbenadering volgt de stroomlijnen in plaats van te kijken naar de stroomeigenschappen per locatie zoals in de Gaussische benadering wordt gedaan. In GRAL worden vanaf verschillende (willekeurig gekozen) punten in de tunnelmond de stroom gevolgd. De concentratie op grotere afstand volgt dan uit de dichtheid van de stroomlijnen. De paden die de stroomlijnen volgen worden bepaald door hoe de stroom de tunnel uitkomt en lokale meteorologische omstandigheden. Er zijn slechts sporadisch metingen rondom tunnelportalen verricht zodat verificatie van rekenmethoden moeilijk is. Deze enkele metingen bevestigen wel de indruk dat er een jetstroming is vanuit een tunnelportaal en dat deze interfereert met de wind. Ook blijkt dat de concentraties binnen korte afstand van het tunnelportaal en buiten de zone

van jetstroming sterk afnemen. Uit dat laatste kan worden geconcludeerd dat voor een nauw-keurige lokale beschouwing een fijn grid rondom een tunnelportaal zou moeten worden gehanteerd zowel bij berekeningen als bij schaalmodel onderzoek.

De in Nederland gebruikte rekenmodellen moeten alle zijn gebaseerd op SRM1 of SRM2 conform de vigerende RBL2007. SRM3 kan worden toegepast in geval van toepassing van portaalafzuiging in combinatie met schoorstenen. Uit een beschouwing van de literatuur en een vergelijking van resultaten van berekeningen en schaalmodel-onderzoek lijkt in de Nederlandse rekenmethode veel minder dan in buitenlandse rekenmethoden rekening te worden gehouden met de jetwerking uit het tunnelportaal en de interactie tussen wind en de luchtstroming uit de tunnel.

Invloeden zoals temperatuurverschillen, over een etmaal zich wijzigende combinatie van omstandigheden en de voor tunnels specifieke chemische en fysische reacties van verkeersemisatie zijn niet opgenomen in SRM1 en SRM2 maar worden in buitenlandse publicaties wel genoemd.

SRM1 en SRM2 houden in principe geen rekening met verdiepte wegen en hellingen van toeritten waardoor de hoogteligging van de weg niet in de berekeningen wordt betrokken. Door een rekenregel kunnen in SRM2 de effecten wel worden gemodelleerd maar dat lijkt een ruwe benadering van de werkelijkheid. Lokaal kunnen daardoor afwijkingen ontstaan van de werkelijkheid. Enkele buitenlandse modellen houden wel rekening met de verdiepte ligging van de aansluitende weg, waardoor – volgens de aangehaalde literatuur – de berekeningen op lokaal niveau nauwkeurig zijn.

De meeste windtunnelmetingen aan tunnelmonden worden in Nederland ofwel door Peutz ofwel door TNO uitgevoerd. De door beide bureaus gebruikte methode is door het ministerie van VROM in het kader van de Regeling beoordeling luchtkwaliteit 2007 (artikel 72) goedgekeurd. Dit betreft echter alleen de werking van de windtunnel zelf en de wijze waarop deze wordt gebruikt. Niet vastgelegd is bijvoorbeeld aan welke voorwaarden een schaalmodel zelf moet voldoen, hoeveel meetpunten moeten worden gebruikt en waar deze moeten zijn geplaatst en hoe de windinvloed moet worden gemodelleerd. Ook lijkt niet geregeld te zijn hoe resultaten van windtunnelonderzoek moeten worden geïntegreerd in resultaten van luchtberekeningen.

Hoewel verder niet onderzocht in het literatuuronderzoek worden in sommige aangehaalde literatuurbronnen ook andere invloeden op de emissieconcentraties buiten de tunnel genoemd. Dit betreft dan zaken die in de tunnel optreden. Als voorbeeld wordt genoemd het gebruik maken van voorgeschreven emissiekengetallen die alleen gelden voor een horizontale weg waarbij geen rekening wordt gehouden met hellingen terwijl die in tunnels nu juist vaak aanwezig zijn. Volgens internationale publicaties hebben hellingen een aanzienlijke invloed op emissiekengetallen van met name vrachtverkeer, waarbij afhankelijk van laadgewicht en hellinghoek correctiefactoren van tussen de 1.5 en 3 moeten worden toegepast. Ook de afwezigheid van UV licht waardoor de vorming van NO₂ in de tunnel wordt beperkt wordt genoemd.

5 K2: Praktijkmeting bij een tunnelportaal

In het kader van project T118 Tunnels en Luchtkwaliteit zijn in deelproject K2 metingen van emissieconcentraties uitgevoerd bij het zuidelijke tunnelportaal van de Wijkertunnel. De metingen waren bedoeld om een indruk te verkrijgen van de absolute hoogte van emissieconcentraties en zo mogelijk ook van de wijze van verspreiding rondom het tunnelportaal. Bedoeld was met de metingen dan een antwoord te geven op de vraag "Is er bij tunnelportalen een overschrijding van grenswaarden te verwachten?". De meetopstelling is zodanig ingericht dat tevens een indruk te verkrijgen was van de wijze van verspreiding vanuit een tunnelportaal en op welke afstand van een tunnelportaal de bijdrage vanuit de tunnel kan worden verwaarloosd ten opzichte van de bijdrage door andere bronnen.

Gedurende een periode van twee maanden van 23 juli tot 17 september 2009 zijn er metingen verricht nabij het zuidelijke tunnelportaal van de Wijkertunnel. De metingen zijn uitgevoerd door M+P Raadgevende Ingenieurs bv en begeleid door h3mhuijben Consultancy bv. De rapportage beschrijft de achtergronden van de metingen en bespreekt de meetresultaten. De beschrijving van de metingen zelf en de meetresultaten zijn door de M+P Raadgevende Ingenieurs gerapporteerd. Voor een gedetailleerde beschrijving van de keuze van de meetlocatie, de meetopstelling en de meetresultaten wordt verwezen naar rapport 'Metingen luchtkwaliteit bij de Wijkertunnel', kenmerk T118/K2 d.d. 2 april 2010 van het COB.

5.1 Beschrijving Situatie

De Wijkertunnel is een tunnel met 2 buizen in de Rijksweg A9 en kruist het Noordzee-kanaal. In beide tunnelbuisen zijn twee rijstroken en een vluchtstrook aanwezig. Het gesloten gedeelte van de tunnel is 680 meter lang en het diepste punt ongeveer 25 meter onder NAP.



Figuur 6 Zuidelijke tunnelmond Wijkertunnel Rijksweg A9

De zuidzijde van het tunnelportaal van de Wijkertunnel is geheel gelegen in een landelijke omgeving. De rijbanen liggen verdiept ten opzichte van het omliggende maai-veld. In 2009 reden er gemiddeld circa 56.000 voertuigen per dag door de Wijkertunnel. Het vrachtwagen aandeel was ca. 7%. De emissie van een vrachtwagen ligt in verhouding tot een personenauto een factor 10 hoger voor NO_x en een factor 4 voor PM₁₀, uitgaande van vrije doorstroming.

De Wijkertunnel A9 is gelegen op enige afstand van stedelijke bebouwing. Als gevolg hiervan zijn de achtergrondconcentraties van de diverse luchtverontreinigende stoffen relatief laag te noemen. Opgemerkt wordt dat ter plaatse geen andere relevante bronnen, zoals bijvoorbeeld industrie, aanwezig zijn. Wel is er emissie te verwachten van passerende scheepvaart in het NoordZee kanaal, maar die emissie is steeds zeer tijdelijk. Ook was tijdens de metingen de wind vrijwel continu zuid-west, zodat is aangenomen dat een bijdrage door passerende schepen aan de zuidzijde van de tunnels niet werd gemeten.

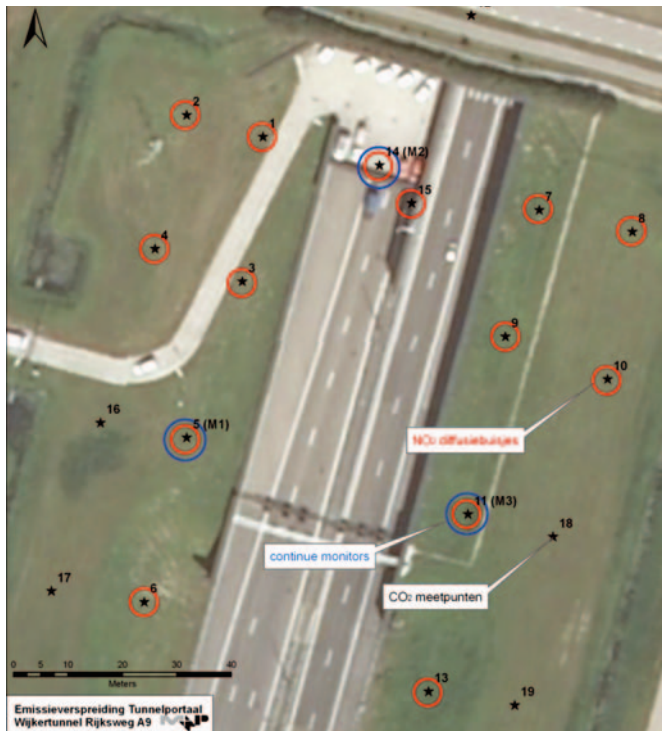


Figuur 7 Meetlocatie tunnelportaal zuidzijde Wijkertunnel Rijksweg A9

5.2 Meetopstelling

De meetopstelling is geplaatst aan de zuidzijde van het tunnelportaal van de Wijkertunnel (zie Figuur 8). Onderstaande uitgangspunten zijn gehanteerd voor de meetopstelling:

- meethoogte: 1,5 m;
- afstand eerste rij meetpunten (lengterichting): 10 m vanaf de wegrand;
- afstand tweede rij meetpunten (lengterichting): 25 m vanaf de wegrand;
- meetpunt 15 op de wegrand in de middenberm van de tunnelmond in zuidelijke richting (bij de vluchtdeur);
- op M1 en M3 continue monitors op 50 m vanaf de tunnelmond;
- meetpunt M2 in het midden en ongeveer 10 meter boven de rijbaan in zuidelijke richting;
- meetpositie achtergrondconcentratie: M1 of M3 afhankelijk van de windrichting;
- meteo-apparatuur op meetpunt M1, M2 en M3.



Figuur 8 Meetopstelling tunnelportaal Wijkertunnel Rijksweg A9

Op de meetpunten M1, M2 en M3 is de volgende apparatuur ingezet:

- Op elk meetpunt M1, M2 en M3 zijn twee Osirissen geplaatst. De Osiris meet continue PM10 en PM2.5. De resultaten van de Osiris moet gezien worden als een indicatieve waarde. Vanuit andere onderzoeken is bekend dat de Osiris de “werkelijke” concentraties (bepaald met de referentiemethode) met circa 20-30% onderschat. Het gaat in dit onderzoek echter niet in de eerste plaats om het bepalen van de werkelijke concentratie om bijvoorbeeld te toetsen aan de wettelijke grenswaarde, maar om een indruk te krijgen van de absolute concentraties en in de verspreiding van de emissie rond de tunnelmond. De gepresenteerde uurgemiddelde concentraties zijn daarom niet gecorrigeerd naar de referentiemethode, zodat sprake blijft van 20-30% onderschatting van de “werkelijke” concentraties. Voor het doel van dit project is de kwaliteit van de Osiris voldoende. Om de onzekerheid van de meetapparatuur te beperken is ervoor gekozen om op elk meetpunt in duplo te meten, dus met twee Osiris-instrumenten per meetpunt.
- Voor het continue meten van NO_x en NO₂ is op alle meetpunten M1, M2 en M3 een Airpointer geplaatst.
- Op alle meetpunten M1, M2 en M3 is een CO₂ monitor van Europa geplaatst. Met deze apparatuur wordt met behulp van infrarood continu de concentratie CO₂ gemeten.
- op drie meetposities M1, M2 en M3 is een weerstation geplaatst dat luchttemperatuur, luchtvochtigheid, windrichting en windsnelheid meet.

Voor het meten van NO₂ is op alle meetpunten behalve de nrs. 16 t/m 19 gebruik gemaakt van Palmes diffusiebuisjes. Op iedere meetlocatie zijn vier diffusiebuisjes in een zogenoemde cup opgehangen, om invloed van regen en wind te verminderen. Om

meer inzicht te krijgen in de onzekerheden van deze meetmethode en de invloed van de analyse van de buisjes, is uiteindelijk op elk meetpunt (gelijktijdig) met vier buisjes gewerkt. Er is gebruik gemaakt van twee typen buisjes: het standaardtype en een type met een speciaal membraan, ontworpen voor vermindering van turbulentie. De diffusie-buisjes zijn opgehangen in paren van hetzelfde type. Daarnaast is op enkele meetlocaties een vijfde buisje toegevoegd een zogenaamde "blank". Deze buisjes blijven ongebruikt, worden niet blootgesteld aan de lucht en dienen ter controle van de meetmethode. Vervolgens zijn de diffusiebuisjes geanalyseerd in twee verschillende laboratoria (Passam en MüllerBBM) met als resultaat per diffusiebuisje een concentratie stikstofdioxide in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De resultaten van deze analyses zijn gebruikt om meer inzicht te krijgen in de onzekerheden van de methode. De resultaten van de diffusiebuisjes zijn gecorrigeerd naar de meetwaarden van de continue NO_2 monitors (Airpointer), zodat de gepresenteerde waarden overeenkomen met de meetwaarden conform de referentiemethode.

Voor het meten van koolstofdioxide bij de 5 meetronden is de volgende apparatuur ingezet:

- Met twee IBRID MX6 CO_2 gasdetectors is op verschillende locaties de concentratie CO_2 gemeten. Met deze handmeters wordt de concentratie CO_2 in volumeprocenten gemeten.
- De CaTeC Klimabox is gebruikt om op alle meetpunten een meting te doen van enkele minuten. De meetresultaten zijn weergegeven in de eenheid parts per million (ppm).

Ter controle van de weerstations is gedetailleerde meteo-informatie van een meteodienst opgevraagd.

5.3 Meetresultaten NO_2 -concentraties

De resultaten van de metingen met de Palmes diffusiebuisjes laten voor de concentraties stikstofdioxide (NO_2) gedurende de meetperiode het beeld zien zoals gepresenteerd in Figuur 9.

Het valt op dat op de meetlocaties die zijn gelegen op 10 meter van de wegrand de gemiddelde concentratie toeneemt naarmate de afstand tot het tunnelportaal groter is. Op de verste punten (ca. 90 meter buiten het uitgangsportaal) treden de hoogste concentraties op. De gangbare opvatting is dat concentraties dalen met toenemende afstand tot de bron. In dit geval wordt echter een stijging gemeten. Bovendien verspreidt de emissies zich veel mindere mate dwars op de Rijksweg A9, hetgeen bij een overwegende zuidwestelijke windrichting wel te verwachten zou zijn geweest. De verdiepte ligging van de tunnelmond lijkt hierop van invloed. Het lijkt waarschijnlijk dat de "jetwerking" zoals beschreven in het literatuuronderzoek (deelrapportage K1) de veroorzaker is van het feit dat op grotere afstand van het tunnelportaal relatief hogere concentraties NO_2 worden gemeten. De door het verkeer geïnduceerde turbulentie stuwt de lucht door de tunnelbak waardoor in combinatie met de afscherpende werking van de tunnelbak de emissieconcentraties in verhoogde mate vrij komen op het moment dat de weg weer op maaiveld ligt. Uit de meetresultaten op grotere afstand van de weg kan worden gesteld dat tot op 50m vanaf de zijkant van de weg nog invloed wordt gemeten. Dit blijkt o.a. uit een vergelijking van de meetpunten die het verst van de weg waren gepositioneerd. Westelijk van de weg is concentratie ca. $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en nagenoeg vergelijkbaar het een achtergrondconcentratie terwijl oostelijk van de weg de concentratie $24 - 25,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ is.

De hogere concentraties aan de oostzijde van de A9 in de tunnelmond (zie rapport M+P, paragraaf 3.1, figuur 10) zijn waarschijnlijk te verklaren uit de overheersende zuidwestelijke windrichting.



Figuur 9 Meetresultaten passieve metingen NO₂

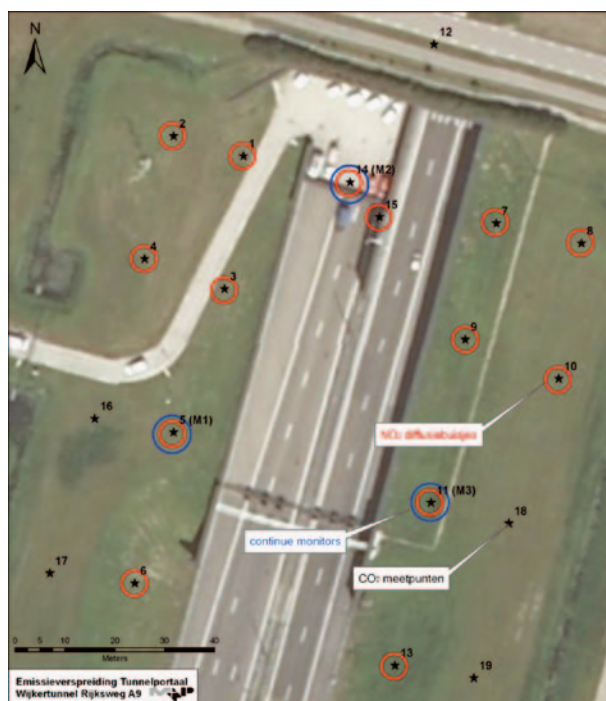
5.4 Meetresultaten CO₂-concentraties

In 5 verschillende meetronden is de concentratie CO₂ bepaald op verschillende meetlocaties rond het tunnelportaal. Dit is aangegeven in Figuur 10. Hierin zijn de meetlocaties van CO₂ gedurende de 5 meetronden aangegeven met een zwarte ster. De locaties waar in de meetperiode continu CO₂ is gemeten zijn aangegeven met een blauw omcirkelde zwarte ster – op deze posities is ook tijdens de 5 meetronden een meting uitgevoerd.

Uit de metingen blijkt dat de concentraties in de omgeving van de tunnelmond lager zijn dan van tevoren werd verwacht op basis van de productie van CO₂ door het verkeer. Alleen dichtbij de opening van de tunnelmond zijn relatief hoge concentraties CO₂ (hoger dan 4000 ppm) geconstateerd. Een verklaring voor de lage concentraties is dat er buiten het tunnelportaal een sterke verdunning optreedt. Een andere verklaring is dat door "jet-werking" vanuit het tunnelportaal de CO₂ afkomstig uit de tunnel tot buiten het gebied van de meetposities wordt getransporteerd of dat deze bijdraagt aan de verdunning. Deze verklaringen zijn echter niet getoetst of geverifieerd, het zijn veronderstellingen.

Er blijken behoorlijke verschillen te bestaan in de gemeten waarden van de continue meetapparatuur en de apparatuur die in de meetronden is gebruikt. Waarschijnlijk is de oorzaak dat de gemeten concentraties zich bevinden aan de onderkant van het

meetbereik van de CO₂ sensoren. Dat blijkt uit de CO₂ concentratie die met de verschillende apparaten c.q. sensoren vastgesteld wordt. Deze is niet hoger dan 1000 ppm. Op verschillende meetpunten is de gemeten CO₂ concentratie zelfs tussen 500 en 600 ppm en dat is niet veel hoger dan de achtergrondconcentratie (ca 400 ppm).



Figuur 10 Meetlocaties CO₂; zwarte ster = meetlocatie CO₂, blauw omcirkeld = continue meting CO₂

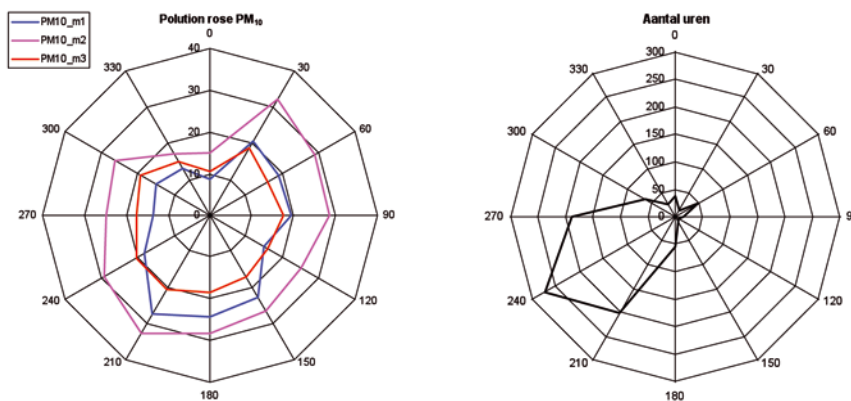
Opvallend is dat in de nachtelijke uren op meetpunt M2, dat bovenop het tunnelportaal is geplaatst, in afwijking voor het beeld van de NO₂/NO_x concentraties die logische pieken geeft in de ochtenduren, wel hoge concentraties CO₂ worden gemeten. Een verklaring kan zijn dat er 's nachts weinig verkeer is, daardoor de luchtsnelheid in de tunnel slechts zeer beperkt is en er net buiten het tunnelportaal geen "pluim" ontstaat maar een "wolk" van emissie die ook over meetpunt M2 ligt. In de literatuur (zie project K1) wordt gesproken over de thermische invloed van verspreiding. Deze invloed kan niet rechtstreeks uit metingen worden afgelezen. Een beoordeling van de meetresultaten in het licht van thermische effecten zou echter als volgt kunnen worden opgesteld: Als deze invloed er al is dan zou uit de metingen kunnen worden afgelezen dat deze zeer zwak is. Het is niet logisch dat de invloed overdag zou worden gemeten - de buitentemperatuur was vrij hoog tijdens de metingen (zomer, temperaturen tussen 20 - 25 °C) terwijl in de tunnel de lucht weliswaar enigszins wordt opgewarmd door het verkeer maar aan de andere kant afkoelt aan de koele wanden van de tunnel zodat de temperatuur uit de tunnel kouder kan zijn dan de buitenlucht (naar schatting 10 - 15 °C). De tunnelwanden warmen echter wel op naarmate de dag vordert. 's Nachts is de tunnelconstructie nog enigszins warm van de invloed overdag terwijl dan de buitenlucht koel is. Een thermisch effect kan 's nachts dan theoretisch wel worden verwacht hetgeen misschien de verhoogde meetwaarde op meetpunt M2 zou verklaren. Dit betreft uitsluitend een veronderstelling omdat de luchttemperaturen binnen en buiten de tunnel niet zijn gemeten.

5.5 Vergelijking metingen van NO₂- en CO₂-concentraties

Uit de continue meetresultaten volgt dat de CO₂ concentraties in de tijd zich op gelijke wijze verhouden tot de NO₂ concentraties. Waarschijnlijk geldt dit dan ook voor de verspreiding van NO₂ en CO₂ rond de tunnelmond. Op het meetpunt tussen de rijbanen in (net buiten de tunneluitgang) is zowel de NO₂ concentratie als die van CO₂ sterk verhoogd. De concentraties NO₂ op de meetlocaties aan de westzijde van Rijksweg A9 zijn lager dan de concentraties NO₂ op de meetlocaties oostelijk van de Rijksweg A9. Eenzelfde beeld blijkt niet direct duidelijk uit de gemeten verspreiding van CO₂ tijdens de 5 meetronden (met enkele minuten meettijd). M+P merkt hierbij op dat we te maken hebben met relatief lage concentraties CO₂ die maar weinig hoger zijn dan het achtergrondniveau. De metingen van CO₂ tijdens de 5 meetronden hebben niet een duidelijk beeld van de verspreiding opgeleverd. Bij toekomstige metingen met behulp van CO₂ als tracersgas zou kunnen worden overwogen om in de tunnel extra CO₂ vrij te laten komen, maar even zo goed kan worden gesteld dat CO₂ niet echt een geschikte tracer is gebleken om verspreiding van emissies in kaart te brengen, zoals in het onderzoek van M+P rapport (zie deelrapportage K2) wordt geconcludeerd.

5.6 Meetresultaten PM10-concentraties

Gedurende de gehele meetperiode zijn op drie continue meetpunten (M1, M2 en M3 - zie Figuur 10) de concentraties fijn stof in duplo gemeten. In Figuur 11 zijn de uurgemiddelde concentraties PM10 zijn uitgezet bij de verschillende windrichtingen in de meetperiode. Ook is in de windros de windrichting uitgezet tegen het aantal uren (zie rapport M+P, paragraaf 3.2, figuur 12). Dit is hier aangegeven in Figuur 11.



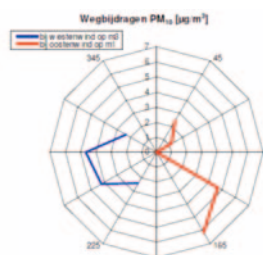
Figuur 11 Links: uurgemiddeldeconcentratie PM10 op M1, M2 en M3 uitgezet tegen de windrichting; Rechts: windrichting uitgezet tegen het aantal uren (windsnelheid > 1m/s en standaarddeviatie windrichting < 15°)

De hoogste concentraties op meetpunt M1 (ten westen van de weg) treden op bij wind uit 150 - 210° t.o.v. het noorden. De wegligging is circa 195° t.o.v. het noorden. Een belangrijke bijdrage tot meetpunt M1 bij windrichtingen 150 - 210° is dan de weg zelf. De hoogste concentraties op meetpunt M2 (boven het tunnelportaal) treden op bij wind uit 30 - 90° en 180 - 240° t.o.v. het noorden. Bij de zuidelijke windrichting zal dit vooral

veroorzaakt worden door enerzijds de emissie uit het uitgangsportaal van de westbuis en anderzijds door de wegbijdrage van de rijbaan naar de oostbuis van de tunnel leidt.

De hoogste concentraties op meetpunt M3 (aan de oostzijde van de weg) treden op bij wind uit 180 - 300° t.o.v. het noorden. De hoge waarden bij windrichtingen 270 - 300° zijn te verwachten omdat de wind dan dwars op de weg staat. De hoge waarden bij windrichtingen 180 - 210° zijn vooral te verklaren uit een bijdrage van de weg zelf (zowel voor de rijrichting zuid-noord als voor de richting noord-zuid) en een bijdrage door het 'wegblazen' van de pluim die uit de tunnel komt. Omdat het om PM10-emissies gaat kan een wezenlijk beïnvloeding van een andere bron als de scheepvaart worden uitgesloten.

Uit de meetwaarden van meetpunten M1 en M3 is bij verschillende windrichtingen de verkeersbijdrage van fijn stof te bepalen. Op meetpunt M1 - westelijk van de weg - is de bijdrage van de verkeersemissie bij west tot zuidwestelijke windrichting maximaal 4,5 µg/m³. Op meetpunt M3 - oostelijk van de weg - is bij westenwind de verkeersbijdrage tussen 4 en 5 µg/m³.



Bijdrage van verkeersemissie op meetpunt M1 bij oostenwind en op meetpunt M3 bij westenwind

Figuur 12 Wegbijdrage PM10 op M1 resp. M3 uitgezet tegen de windrichting (bron: rapport M+P zie K2 deelrapportage)

5.7 Algemene beschouwing

Vanwege de relatief korte meetperiode - waar bewust voor was gekozen - zijn tijdens de meetperiode niet alle mogelijke weersomstandigheden opgetreden. Er was voornamelijk zuidwestelijke wind - tezamen met de ligging van het zuidportaal was te verwachten dat de emissie zich dan vooral naar de oostelijke zijde van de weg beweegt. Maar de wind was tevens enigszins tegen de rijrichting in. Om een duidelijker beeld te krijgen van de verspreiding in de praktijk zouden dergelijke metingen ook in andere jaargetijden en bij diverse windrichtingen moeten plaatsvinden.

De veldmeting heeft laten zien dat er verhoogde concentraties in een tunnelmondgebied optreden, met een verkeersbijdrage van ca 20 µg/m³ voor stikstofdioxide, hetgeen als substantieel moeten worden beschouwd. Daarnaast zijn er duidelijke indicaties voor het optreden van een jetwerking met relatief hoge NO₂-concentraties aan het eind van de tunnelbak op grotere afstand.

6 K3: Schaalmodelonderzoek

6.1 Aanleiding voor het onderzoek

Een van de onderzoeksvragen van het COB-onderzoek Emissieverspreiding bij Tunnelportalen is gericht op het vergroten van inzicht in de effectiviteit van "passieve" maatregelen gericht op verlaging van concentraties NO₂ en PM10 in de nabijheid van tunnelmonden. Passieve maatregelen zijn maatregelen zonder vorm van aandrijving, zoals bijvoorbeeld schermen. Een actieve maatregel vraagt wel een vorm van aandrijving, bijvoorbeeld een afzuiginstallatie in de tunnel waarvoor ventilatoren nodig zijn en die aangedreven moeten worden.

Deze onderzoeksvraag is ontstaan uit ervaringen met recente tracé-/mer studies waarbij uitbreiding of realisatie van nieuwe tunnels aan de orde is. Uit luchtonderzoeken die in het kader van projecten als bijvoorbeeld de Tweede Coentunnel, A4 Delft-Schiedam, Schiphol-Amsterdam-Almere in voorgaande jaren zijn uitgevoerd, bleek telkenmale dat zonder maatregelen de op 10 meter afstand van de wegrand berekende jaar-gemiddelde NO₂- en PM10-concentraties in de nabijheid van de tunnelmonden de voor deze stoffen geldende grenswaarden (40 µg/m³) zouden overstijgen. In het kader van dezelfde studies werd in navolging van de gekozen oplossing voor de Tweede Coentunnel geopteerd voor het plaatsen van schoorstenen en een afzuiginstallatie. Tegelijkertijd was er het besef dat hiermee hoge investering- en beheerskosten gemoeid zullen zijn. Investeringskosten van ca 50 mln euro en beheerskosten (vooral energie) van tenminste 500.000 euro per jaar. Een oplossing die als kostenineffectief kan worden beschouwd.

Er is begin 2009, de periode dat het COB-onderzoek in opbouw was, aanleiding om meer kosteneffectieve maatregelen met behulp van schaalmodelonderzoek te beproeven. In het schaalmodelonderzoek (K3) zijn de volgende tunnels betrokken:

- Gaasperdammerwegtunnel in Amsterdam Zuid-Oost
- Keizer Karel tunnel te Amstelveen
- Noordelijke tunnelmond van de A4 Delft-Schiedam

Het schaalmodelonderzoek oftewel het windtunnelonderzoek is in alle gevallen uitgevoerd door TNO.

Voor elk van de bovengenoemde tunnels en dus rekening houdend met locatie-specifieke kenmerken, is door middel van het houden van expertmeetings bepaald welke maatregelenconfiguraties in het schaalmodelonderzoek zouden moeten worden opgenomen. Deze configuraties worden bij de besprekingen van de resultaten van het schaalmodelonderzoek per tunnel nader toegelicht. Het totale pakket aan passieve maatregelen bestaat uit:

- verschoven inrit en uitrit van de tunnelbuizen,
- rechte schermen (met verschillende hoogtes)
- geknikte schermen
- emissiegaten in het tunneldak
- emissiegaten in de tunnelwand
- schoepen in de tunnelmond.

Per 1 augustus 2009 heeft er belangrijke verandering plaatsgevonden in de regelgeving rond het onderwerp luchtkwaliteit. In dit jaar heeft het kabinet het Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL) vastgesteld. Het NSL is een samenwerkingsprogramma van de rijksoverheid en de decentrale overheden in de gebieden waar de luchtkwaliteitsnormen worden of dreigen te worden overschreden. Het NSL bevat aan de ene kant maatregelen om de luchtkwaliteit te verbeteren en aan de andere kant grote ruimtelijke ontwikkelingen die de luchtkwaliteit (mogelijk) verslechteren. Het kan daarbij gaan om ruimtelijke, verkeers- en infrastructurele besluiten en vergunningen voor industriële en landbouwkundige installaties. Het Rijk coördineert de totstandkoming en uitvoering van het NSL en maakt met provincies en gemeenten afspraken over toetsbare resultaten; in de NSL-gebieden moeten de normen voor luchtkwaliteit worden gehaald. Indien een project onder het NSL valt, betekent dit dat voor dit project niet langer op basis van een zelfstandig luchtonderzoek hoeft te worden aangetoond dat aan de grenswaarden voor de luchtkwaliteit wordt voldaan. In plaats daarvan kan verwezen worden naar de luchtberekeningen van het NSL. Wel dient aangetoond te worden dat het plan dat vastgesteld wordt, overeen komt met het plan zoals het in het NSL is opgenomen.

De vaststelling van het NSL is ook relevant voor het onderhavige K3-Schaalmodelonderzoek. Het schaalmodelonderzoek is geen essentiële schakel meer om met – liefst passieve – maatregelen aan te tonen hoe aan de grenswaarden voor de luchtkwaliteit kon worden voldaan. In de plaats daarvan wordt het belangrijker dat de projecten A4 Delft-Schiedam en Schphol-Amsterdam-Almere goed zijn opgenomen in het NSL en dat het rekeninstrument “de Saneringstool”, dat ten grondslag ligt aan het NSL, aantoont dat vervolgens voor deze projecten geen overschrijding van de grenswaarden voor de luchtkwaliteit zal ontstaan, ook niet bij de nieuwe tunnelmonden. Overigens moet hierbij bedacht worden dat ook het rekenhart van de Saneringstool voldoet aan de Regeling beoordeling luchtkwaliteit en dus aan SRM1 en SRM2. Wel zijn er twee verschillen ten opzichte van projectgebonden (windtunnel)onderzoek die in voorgaande jaren, en dus vóór de inwerkingtreding van het NSL werden uitgevoerd. Ten eerste is in de Saneringstool het toepasbaarheidscriterium geïmplementeerd. Dat betekent op veel plaatsen dat de toetsafstand op een grotere afstand dan 10 meter vanaf de wegrand is komen te liggen. In de tweede plaats ligt er aan de Saneringstool voor wat betreft het hoofdwegennet het verkeersmodel LMS ten grondslag. Dat wijkt af, soms naar boven maar veelal naar beneden, ten opzichte van het verkeersmodel NRM zoals in voorgaande jaren in luchtonderzoeken ten behoeve van tracé- /mer studie werd gebruikt.

Een schaalmodelonderzoek is in deze situatie pas een optie als alle door het NSL geboden mogelijkheden geen uitkomst bieden. Verwacht wordt dat bij het uitbrengen van de “Monitoringstool” (de Saneringstool wordt hier-toe omgebouwd) in het najaar van 2010, zal blijken dat, zonder dat extra op de luchtkwaliteit gerichte locatie-specifieke maatregelen zijn getroffen, in de nabijheid van de tunnelmonden van de Gaasperdammerwegtunnel, de Keizer Karel tunnel en de tunnel A4 Delft-Schiedam de grenswaarden voor de luchtkwaliteit niet zullen worden overschreden. Mocht in de loop van de komende jaren op basis van nieuwe monitoringsresultaten dit toch het geval te zijn, dan zal binnen het kader van het NSL een oplossing worden gevonden. Mogelijk wordt dan alsnog gebruik gemaakt van windtunnelonderzoek.

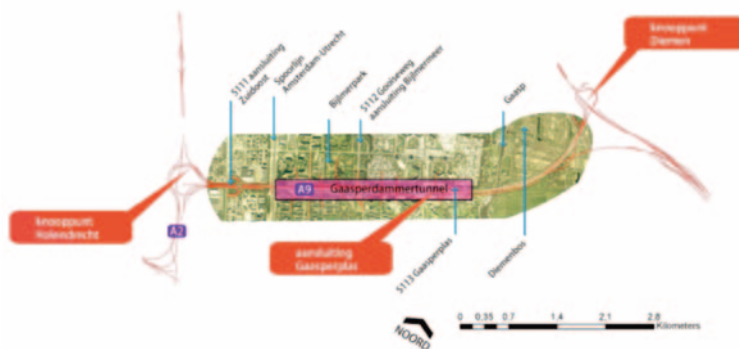
Het K3-schaalmodelonderzoek behoudt zijn doel om inzichtelijk te maken of er 1. effectievere maatregelen zijn dan tunnelafzuiging en 2. hoe deze andere maatregelen zich tot elkaar verhouden. Omdat er sprake blijft van relatief hogere concentraties NO₂ en PM10 bij tunnelmonden – zie bijvoorbeeld ook de resultaten van de K2-Praktijkmeting bij de Wijkertunnel – blijft inzet van maatregelen tegen zo laag mogelijke kosten en met een zo hoog mogelijk rendement opportuun. In de volgende hoofdstukken wordt hierop ingegaan. De verschillende schaalonderzoeken zijn in detail beschreven in TNO-rapporten: TNO-034-UT-2010-00747_RPT-ML (tunnel A4 Delft-Schiedam), TNO-034-APD-2010-00282_RPT-ML (Keizer Karel tunnel) en TNO-034-APD-2010-00282_RPT-ML (Gaasperdammertunnel).

6.2 Configuraties in de schaalmodelonderzoeken

Voor elke tunnel(mond) (Gaasperdammerweg, Keizer Karel en A4 Delft-Schiedam) afzonderlijk heeft eigenstandige afweging plaatsgevonden over welke configuraties in het schaalmodelonderzoek zouden moeten worden betrokken. Daartoe zijn expertmeetings gehouden. Op deze wijze konden configuraties worden samengesteld die toegesneden zijn om projectspecifieke kenmerken en randvoorwaarden en die ook mogelijk een daadwerkelijk bijdrage zouden kunnen leveren aan verbetering van de luchtkwaliteit of aan de oplossing van knelpunten die in voorgaand uitgevoerd luchtonderzoek naar boven waren gekomen. Wel is vanuit COB toegezien dat er voldoende variëteit in het pakket ontstond met het oog op het verkrijgen van meer inzicht in de effectiviteit van verschillende maatregelen (kennisdoel).

6.2.1 Gaasperdammertunnel in Amsterdam Zuid-Oost

De A9 wordt ten oosten van de spoorlijn Amsterdam-Utrecht in een tunnel gelegd. De lengte van de tunnel is ca 3 km. De tunnel bestaat uit 4 buizen. De 2 middelste buizen zijn bestemd voor het doorgaande verkeer op de A9. De parallelbuizen hebben een functie voor het invoegend verkeer vanuit of voor uitvoegend verkeer naar het onderliggend wegennet.



Figuur 13 Situering Gaasperdammertunnel

De oostelijke en westelijke tunnelmonden zijn afzonderlijk onderzocht. Er zijn vijf configuraties onderzocht per tunnelmond vijf configuraties onderzocht.

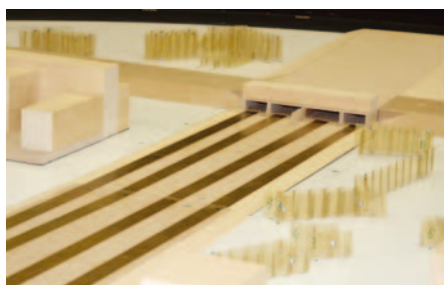
De onderzochte situaties aan de westzijde zijn:

1. Referentiesituatie: een variant zonder afzuiging en zonder schermen, het bedieningsgebouw bevindt zich aan de westkant van het spoor. Dit is de situatie conform het Ontwerp-Tracébesluit wegbreiding Schiphol-Amsterdam-Almere (Figuur 14).
2. Aangepaste referentie situatie: een variant met 70% afzuiging. Aan de westzijde bevindt zich een 20 meter hoge schoorsteen.
3. Hoge luchtschermen: Er bevinden zich 12 meter hoge schermen aan beide zijden van de weg over een lengte van 250 meter lang, aan de oostzijde bevinden zich 5 meter hoge schermen aan beide zijden van de weg.
4. Lage luchtschermen. Als bij de hoge schermen, maar dan met 6 meter hoge schermen.
5. Geknikte schermen: met 6 meter hoge geknikte schermen aan beide zijden van de weg over een lengte van 250 meter (Figuur 15).

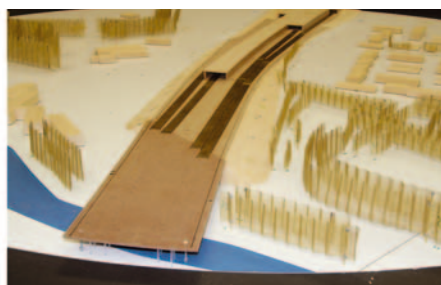
Bij de oostelijke tunnelmond gaat het om de volgende vijf configuraties:

1. Referentiesituatie: zonder maatregelen (Figuur 14).
2. Aangepaste referentie situatie: 70% afzuiging. Er is 5 meter hoog scherm aanwezig aan de noordzijde van de A9 tot over de Gaasp.
3. Lage luchtschermen: aan beide zijden van de weg bevinden zich 5 meter hoge schermen tot over de Gaasp.
4. Half-open tunnelbuis: De tunnelwanden van de hoofdrijbaan zijn 50% doorlatend (Figuur 16).
5. Half-open tunnelbuis met scherm: Naast de half-open tunnelwanden bevindt zich een 5 meter hoog scherm aan de noordzijde tot over de Gaasp.

westelijke tunnelmond



oostelijke tunnelmond



Figuur 14 Referentie situatie tunnelmonden Gaasperdammertunnel

Op basis van bovenstaande configuraties van de Gaasperdammerweg tunnel zijn de volgende maatregelen onderzocht:

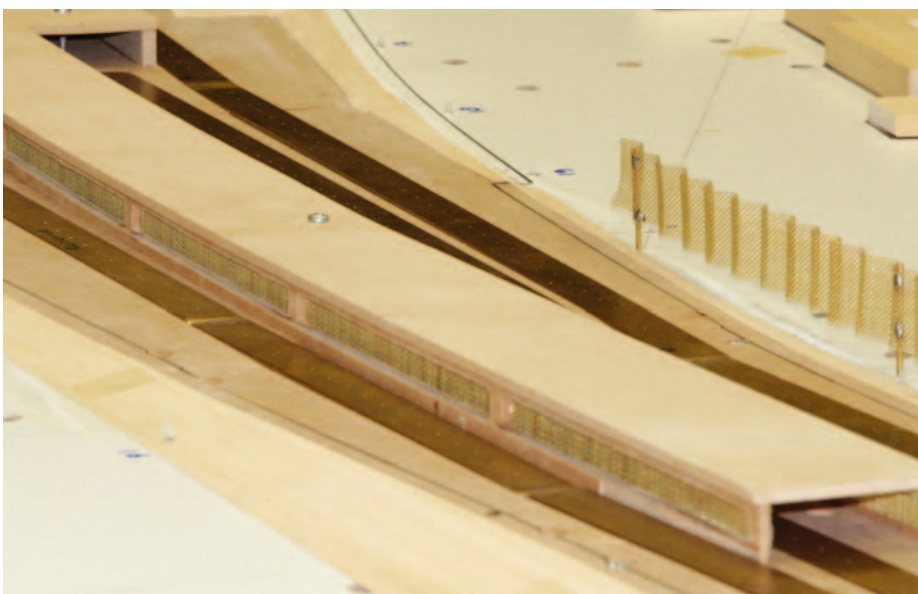
- Afzuiginstallatie voor het verminderen van de emissies uit de tunnelmond, bij beide tunnelmonden.
- Lage schermen (6 m hoog bij westelijke tunnelmond en 5 m bij oostelijke tunnelmond) aan beide zijden van de weg.
- Hoge schermen van 12 meter hoog aan beide zijden van de weg. Alleen bij de westelijke tunnelmond.

- Geknikte schermen van 6 m hoog aan beide zijden van de weg bij de westelijke tunnelmond.
- 50% open tunnelbuis voor hoofdrijbanen bij oostelijke tunnelmond met en zonder 5 meter hoge schermen aan beide zijden van de weg.

Afzuiging van tunnelmondemissies is hier als maatregel opgenomen ter vergelijking van de passieve maatregelen. Geknikte schermen bieden mogelijk een grotere effectiviteit dan reguliere verticale schermen. Half-open tunnelwanden zorgen voor een geleidelijke verspreiding van de tunnelmondemissies met mogelijk gunstige werking op de concentraties. Ten opzichte van het emissiedak (zie beschrijving noordelijke tunnelmond A4 Delft-Schiedam) hebben doorlatende tunnelwanden mogelijk een gunstige invloed van de wind.



Figuur 15 Geknikte schermen



Figuur 16 Oostelijke tunnelmond: zijwanden aan de noord- en zuidzijde 50% open

6.2.2 Keizer Karel tunnel te Amstelveen

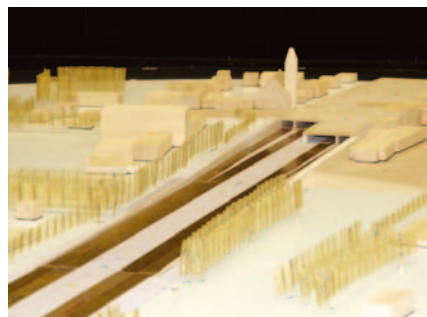
Ter plaatse van het “Oude dorp” en het stadshart van Amstelveen komt de A9 in een tunnel te liggen. De tunnel heeft een lengte van ca 1,8 km. Het westelijk gedeelte van de tunnel bestaat uit 4 buizen (2 buizen ten behoeve van het verkeer op de A9 en 2 buizen ten behoeve van toe- en afritten van en naar de aansluiting Amstelveen-Centrum). Het oostelijk gedeelte van de tunnel heeft 2 buizen ten behoeve van het verkeer op de A9.



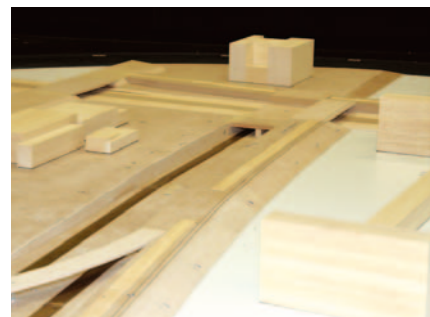
Figuur 17 Situering Keizer Karel tunnel

In het schaalmodelonderzoek zijn de volgende configuraties onderzocht:

- Referentiesituatie: zonder aanvullende maatregelen zijn opgenomen. Dit is de situatie die conform het Ontwerp-Tracébesluit wegwitbreiding Schiphol-Amsterdam-Almere (Figuur 18 en 19).
- Hoge schermen aan de westzijde: Situatie met 12m hoge schermen langs beide zijden van de weg over 200m, van 200m - 400m aflopende schermen naar maaiveld.
- Lage schermen aan de oostzijde: Situatie met 4m hoge schermen langs beide zijden van de weg over ca. 300m.
- Afzuiging: portaal afzuiging met verwijdering van 70% van de tunnelemissie via een schoorsteen.



Figuur 18 Referentiesituatie: westelijke tunnelmond



Figuur 19 Referentiesituatie: oostelijke tunnelmond

6.2.3 Noordelijke tunnelmond A4 Delft-Schiedam

Ter plaatse van de bebouwde kom van Schiedam en Vlaardingen ligt de te realiseren A4 op maaiveld, maar deze wordt over een lengte van 1,2 km overkluisd. In de landtunnel worden de rijrichtingen (noord en zuid) fysiek gescheiden (2 aparte tunnelbuizen).

In overleg met RWS-ZH is alleen voor de noordelijke tunnelmond van de A4-Delft-Schiedam een schaalmodelonderzoek uitgevoerd. Het ontwerp van de A4 aan de zuidzijde van de nieuwe landtunnel in combinatie met de aan deze zijde voorziene maatregelen (schermen) gaven op basis van eerder uitgevoerd luchtonderzoek geen aanleiding om voor deze locatie een schaalmodelonderzoek uit te voeren. Dat geldt wel voor de noordelijke tunnelmond omdat het voor de Trajectnota/MER A4 Delft-Schiedam uitgevoerde luchtonderzoek (2009) hier knelpunten op met name 10 meter afstand van de wegrand signaleerde. De referentieoplossing die hierna beschreven wordt is dan ook een configuratie bestaande uit luchtmaatregelen.

Bij het bovenstaande moet de kanttekening worden geplaatst dat in het Ontwerp-Tracébesluit A4 Delft-Schiedam (in 2010 in procedure is gebracht), aan de noordzijde van de landtunnel geen luchtmaatregelen zijn opgenomen omdat aangetoond is dat het project past binnen het NSL.

In het windtunnelonderzoek is tenslotte ook de configuratie opgenomen conform het Ontwerp-Tracébesluit A4 Delft-Schiedam. Deze configuratie bestaat uit een rechte tunnelmond op de zogenaamde IODS-lijn.



Abbeelding 3.1
Schematische ligging A4 Delft - Schiedam
1 = ligging maaiveld
2 = halfverdiepte ligging
3 = verdiepte ligging
4 = landtunnel

Figuur 20 Situering A4 Delft-Schiedam Landtunnel

In het schaalmodelonderzoek zijn vervolgens voor de noordzijde de volgende configuraties onderzocht:

- De referentie situatie
- De referentie situatie zonder portaalafzuiging
- De referentie situatie zonder portaalafzuiging en met een 'omgekeerd' emissiedak
- De referentie situatie zonder portaalafzuiging en zonder emissiedak
- De referentie situatie zonder portaalafzuiging en zonder emissiedak maar met een langere tunnelbuis aan de westzijde (ingangsportaal)
- Configuratie conform Ontwerp-Tracébesluit A4 Delft-Schiedam
- De referentie situatie zonder portaalafzuiging en zonder emissiedak maar met schoepen boven het uitgangsportaal

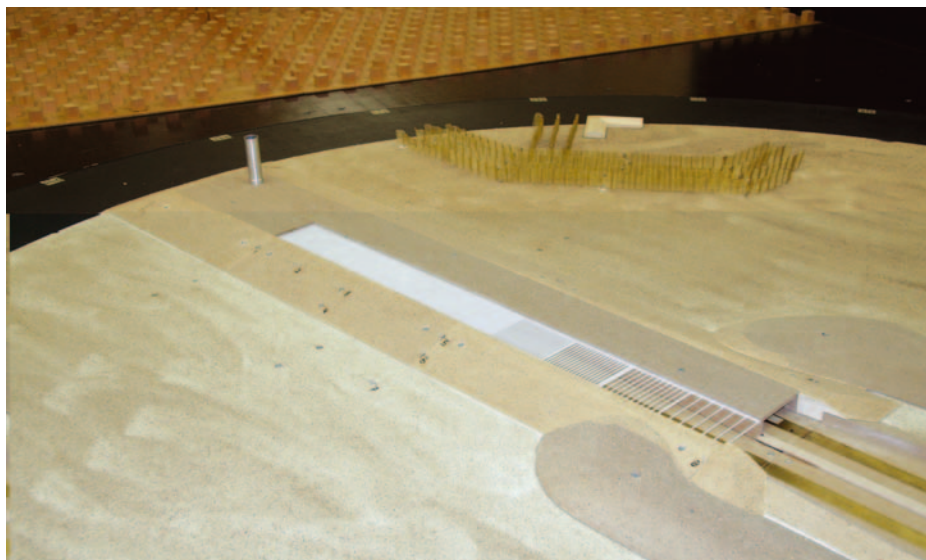
Voor de zuidzijde zijn in deze fase geen schaalmodellen onderzocht. Dat was al eerder gedaan in 2005/2006 waarover in het literatuuronderzoek K1 is gerapporteerd. Op basis van berekeningen was vastgesteld dat aan de zuidzijde geen luchtkwaliteitsproblemen waren te verwachten.

1 Referentiesituatie

Dit is de situatie zoals op hoofdlijnen beschreven in de trajectnota/mer stap 2 Delft-Schiedam (april 2009). De configuratie die vervolgens na april 2009 is uitgewerkt en als referentie-oplossing in het schaalmodelonderzoek zal worden onderzocht bestaat uit de volgende 3 maatregelen:

- Verlengde westbuis van 200 m
- Emissiedak van 200m oostkant van de verlengde westbuis
- Afzuiging van 50% van de emissies (met schoorsteen van 20 m boven tunneldak)

Ten overvloede wordt hier gemeld dat geen van de 3 hierboven genoemde maatregelen zijn opgenomen in het Ontwerp-Tracébesluit A4 Delft-Schiedam.



Figuur 21 Referentie-oplossing (vershoven tunnelbuis, emissiedak en 50% afzuiging)

2 Referentiesituatie minus afzuiginstallatie

In deze configuratie die verder gelijk is aan de referentiesituatie is de afzuiginstallatie achterwege gelaten. Deze configuratie geeft inzicht in het effect van het emissiedak (met een constructie van dicht naar open) en in vergelijking met de vorige configuratie ook inzicht in het netto-effect van de afzuiginstallatie.

3 Controleconfiguratie emissiedak

In deze configuratie is het emissiedak qua constructie omgekeerd ten opzichte van de vorige configuratie namelijk met lamellen van open naar dicht. Deze configuratie is een controle ervan uitgaande dat indien een dicht naar open constructie niet effect is, een antwoord kan worden verkregen op de vraag of het omgekeerde dan ook niet werkt. Indien antwoord bevestigend, dan zijn er sterke indicaties dat een effectief werkend emissiedak moeilijk te construeren is.

Overigens is de vergelijking van deze en de vorige configuratie met de configuratie waarbij emissiegaten in de zijwand van de tunnelbuis bij de tunnel Gaasperdammerweg interessant. Daarop wordt het analysehoofdstuk nog teruggekomen.

4 Referentiesituatie zonder afzuiginstallatie en zonder emissiedak

In deze configuratie wordt het netto effect van de verschoven westelijke tunnelbuis zichtbaar gemaakt.

5 Referentiesituatie zonder afzuiginstallatie, zonder emissiedak met verlengde westelijke tunnelbuis

De westelijke tunnelbuis is met 100 meter extra verlengd om te bezien of daarmee het resultaat op de verspreiding van de emissie in de omgeving van de tunnelmond nog gunstiger wordt beïnvloed. Daarnaast zijn de aan weerszijden van het tracé gelegen zandlichamen met 100 m ingekort in de veronderstelling dat deze wellicht zullen worden verwijderd en de verspreiding van concentraties in principe niet zouden moeten beïnvloeden.

6 Configuratie conform Ontwerp-Tracébesluit A4 Delft-Schiedam

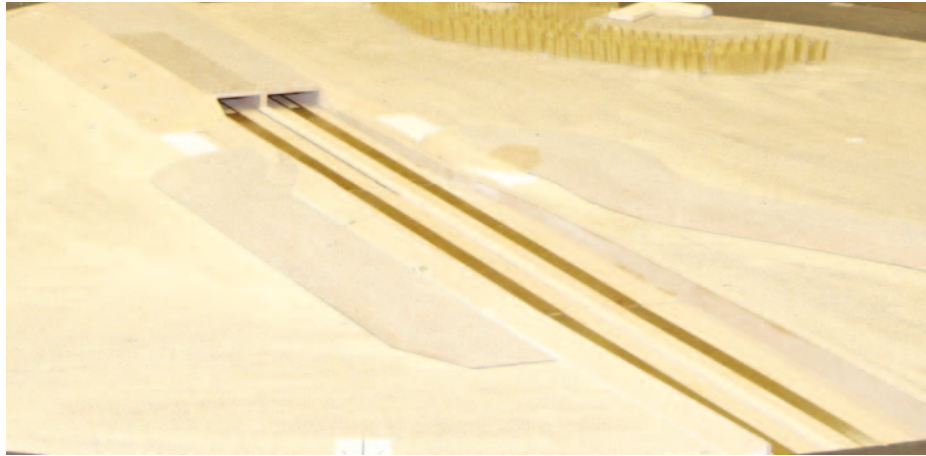
In deze configuratie is er sprake van een rechte tunnelmond op de IODS-lijn (rand stedelijk gebied Schiedam/Vlaardingen) zonder verdere luchtmaatregelen. Configuratie conform OTB-A4 Delft-Schiedam

7 Configuratie met schoepen

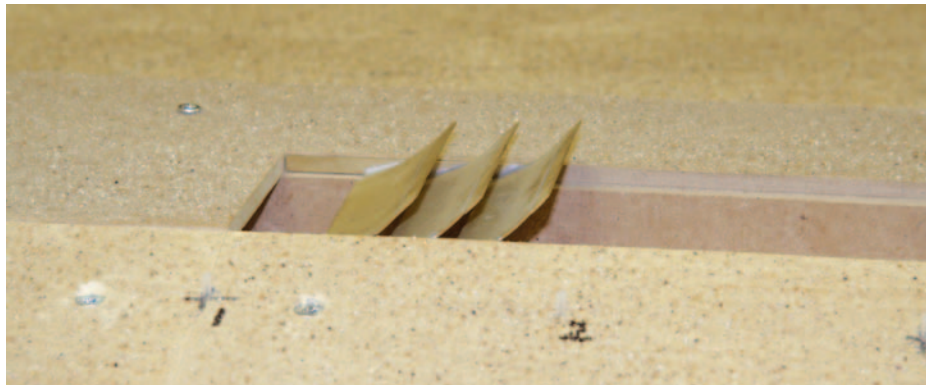
Tenslotte is er nog een bijzondere innovatieve configuratie in het windtunnelonderzoek betrokken, namelijk een oplossing met schoepen om de turbulentie in opwaartse richting dichtbij de tunnelmond sterk te bevorderen. Een oplossing die ook is opgenomen in de inventarisatie van mogelijke oplossingen ter beheersing van de luchtproblematiek bij tunnelmonden en waarover in het kader van het Innovatie Platform Luchtkwaliteit is gerapporteerd. Deze oplossing is als volgt vormgegeven.

Met behulp van het schaalmodelonderzoek wordt deze oplossing voor het eerst in Nederland beproefd.

In de volgende paragraaf worden de resultaten van het schaalmodelonderzoek per beschreven configuraties gerapporteerd.



Figuur 22 Configuratie conform Ontwerp-Tracébesluit (IODS)



Figuur 23 Configuratie met schoepen

6.3 Resultaten van de schaalmodelonderzoeken

In deze paragraaf worden de resultaten van de voor respectievelijk de noordelijke tunnelmond in het traject A4 Delft-Schiedam, Keizer Kareltunnel en de tunnel Gaasperdammerweg uitgevoerde schaalmodelonderzoeken aan de hand van de volgende vragen gepresenteerd:

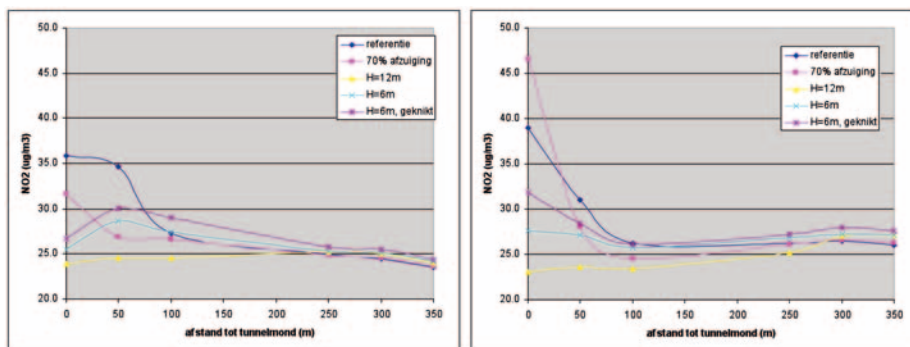
1. Blijkt uit de schaalmodelonderzoeken dat bij de tunnelmonden de gemeten jaargemiddelde concentraties stikstofdioxide onder de grenswaarde van $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ blijven?
2. Hoe groot is het gebied dat door de emissies uit de tunnelmond wordt beïnvloedt?
3. Is de verwachting gegrond dat een systeem met een hoge mate van afzuiging van emissies (respectievelijk 50% of 70%) leidt tot veel lagere zo niet de laagste concentraties NO_2 in een tunnelmond gebied in vergelijking met of zonder of met andere luchtmaatregelen?
4. Hoe scoren alternatieve luchtmaatregelen ten opzichte van een maatregel waarbij emissies vanuit de tunnel via schoorstenen worden afgezogen?
5. Wordt er voordeel bereikt door meer als innovatief beschouwde maatregelen als emissiegaten in het tunneldak, emissiegaten in de tunnelwand en schoepen ten opzichte van de andere meer gangbare luchtmaatregelen als bijvoorbeeld het plaatsen van schermen?

Voor uitvoerige informatie over de resultaten van de schaalmodelonderzoeken wordt verwezen naar de rapporten:

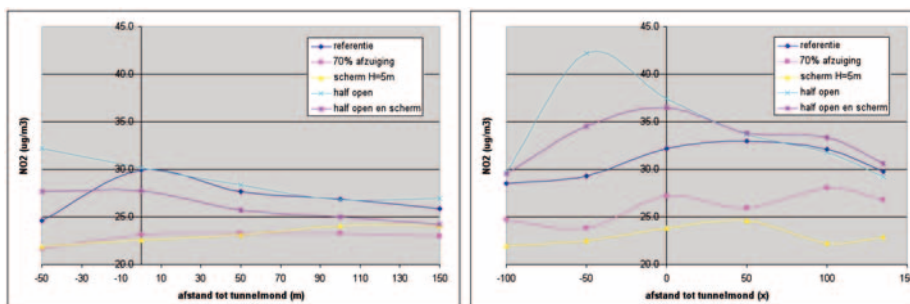
TNO-034-UT-2010-00747_RPT-ML (tunnel A4 Delft-Schiedam),
TNO-034-APD-2010-00282_RPT-ML (Keizer Karel tunnel) en
TNO-034-APD-2010-00282_RPT-ML (Gaasperdammertunnel).

Voor de beantwoording van bovengestelde vragen wordt 2016 (A4 Delft-Schiedam)/2018 (SAA) als basisjaar genomen en bovendien alleen gericht op de stof NO_2 . Betreffende jaren en stof kunnen als maatgevend worden beschouwd voor de presentatie van de resultaten van de schaalmodelonderzoeken in het algemeen en voor de beantwoording van bovenstaande vragen in het bijzonder.

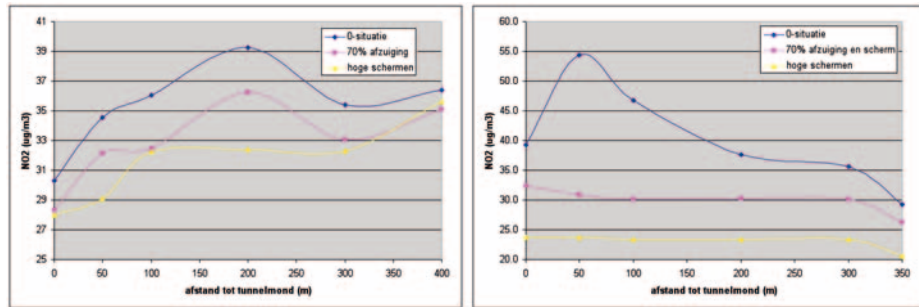
In Figuur 24 tot en met Figuur 28 zijn de resultaten weergegeven in zogenaamde langsprofielen van de jaargemiddelde NO_2 -concentratie (de concentratie als functie van de afstand tot de tunnelmond op 10 meter van de wegrand aan beide zijden van de weg) voor alle schaalmodellen. Per tunnelmond zijn de concentraties voor de verschillende configuraties weergegeven. Op deze wijze zijn per tunnelmond de verschillende configuraties te vergelijken. Deze resultaten zijn eveneens weergegeven in tabel 1.



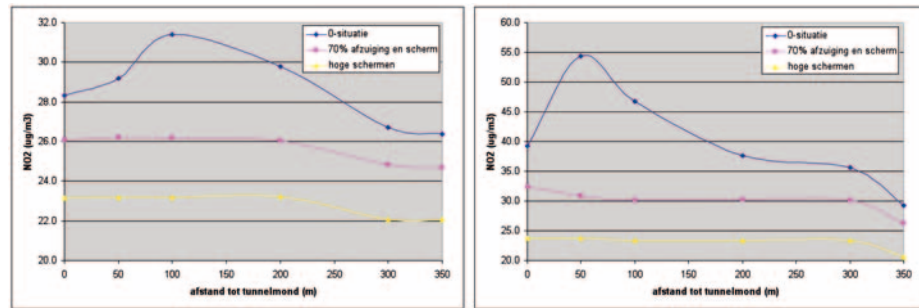
Figuur 24 Jaargemiddelde NO_2 -concentratie bij de westzijde van de Gaasperdammertunnel als functie van de afstand tot de tunnelmond ten noorden van de weg (links) en ten zuiden van de weg (rechts)



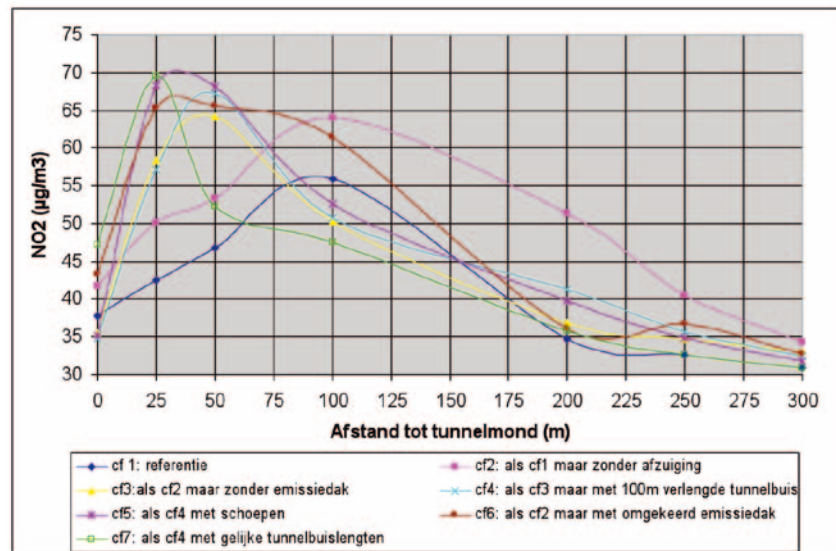
Figuur 25 Jaargemiddelde NO_2 -concentratie bij de oostzijde van de Gaasperdammertunnel als functie van de afstand tot de tunnelmond ten noorden van de weg (links) en ten zuiden van de weg (rechts). Voor de tunnelmond (negatieve afstanden) is er belasting van de verkeer op de parallelrijbaan en van de tunnelmond in de configuraties met half-open tunnelwanden.



Figuur 26 Jaargemiddelde NO₂-concentratie bij de westzijde van de Keizer Karel tunnel als functie van de afstand tot de tunnelmond ten noorden van de weg(links) en ten zuiden van de weg (rechts).



Figuur 27 Jaargemiddelde NO₂-concentratie bij de oostzijde van de Keizer Karel tunnel als functie van de afstand tot de tunnelmond ten noorden van de weg(links) en ten zuiden van de weg (rechts). Opgemerkt wordt dat aan de oostzijde de schermen 4 m hoog zijn.



Figuur 28 Jaargemiddelde NO₂-concentratie bij de oostzijde van de tunnel A4 Delft-Schiedam als functie van de afstand tot de tunnelmond ten noorden van de weg(links) en ten zuiden van de weg (rechts).

Uit de bovenstaande grafieken kan in de volgend tabel een aantal belangrijke concentratie-waarden op een rijtje worden gezet voor de verschillende onderzochte configuraties.

NO ₂	2016/2018									
		Oostzijde			Noordzijde			Zuidzijde		
	Afstand t.o.v. tunnelportaal (lengterichting)	0 m	50 m	100 m	0 m	50 m	100 m	0 m	50 m	100 m
Configuraties met afzuiging	Conf 1 A4 DS	37,8	46,8	56,0						
	Conf 2 KK-W				34,0	30,1	25,6	29,7	29,1	27,5
	Conf 2 KK-O				22,7	22,8	22,7	27,9	26,5	25,9
	Conf 2 GPD-W				40,0	24,3	21,3	27,2	23,2	22,9
	Conf 2 GPD-O				20,1	20,3	20,2	23,6	22,4	24,3
Configuraties zonder luchtmaatregelen	Con 3 A4 DS	35,5	64,2	50,3						
	Conf 7 A4 DS	47,2	69,4	52,3						
	Conf 1 KK-W				35,9	40,1	35,1	31,3	31,0	30,6
	Conf 1 KK-O				24,6	25,2	27,0	33,7	46,2	39,8
	Conf 1 GPD-W				33,5	26,8	22,7	30,7	29,8	23,5
	Conf 1 GPD-O				26,3	24,2	23,5	28,0	28,7	27,9
Aangepaste tunnel	Conf 2 A4 DS	41,7	53,3	64,0						
	Conf 3 A4 DS	35,5	64,2	50,3						
	Conf 4 A4 DS	34,8	67,3	50,7						
Lage schermen	Conf 3 KK-O				23,8	24,0	25,4	24,3	25,5	25,4
	Conf 3 GPD-O				19,6	20,2	21,0	20,6	21,3	19,3
	Conf 4 GPD-W				23,9	23,5	22,3	22,0	24,7	23,6
Hoge schermen	Conf 3 KK-W				32,3	32,9	28,7	29,5	26,7	27,5
	Conf 3 GPD-W				20,0	20,5	20,3	20,7	21,2	21,3
Innovatieve luchtmaatregelen		35,2	68,1	52,6						
					27,5	24,6	22,6	23,0	25,9	25,0
					26,5	24,8	23,4	32,8	29,4	27,7
					24,3	22,5	21,8	32,0	29,5	29,1

Tabel 1 De jaargemiddelde NO₂-concentratie voor de verschillende tunnelmonden en configuraties voor een aantal maatgevende receptorpunten (in µg/m³)

Voorgaande tabel geeft een samenvattend overzicht voor een aantal maatgevende receptorpunten. Voor een volledig overzicht wordt verwezen naar de bovenstaande grafieken. Vervolgens wordt op de afzonderlijke vragen ingegaan.

1. Blijkt uit de schaalmodelonderzoeken dat bij de tunnelmonden de gemeten jaargemiddelde concentraties stikstofdioxide onder de voor deze stof geldende grenswaarde van $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ blijven?

Uit voorgaande tabel, kan de volgende uitsnede worden uitgelegd bestaande uit de configuraties zonder luchtmaatregelen.

NO ₂	2016/2018	Oostzijde			Noordzijde			Zuidzijde		
		Afstand t.o.v. tunnelportaal (lengterichting)	0 m	50 m	100 m	0 m	50 m	100 m	0 m	50 m
Configuraties zonder luchtmaatregelen	Con 3 A4 DS	35,5	64,2	50,3						
	Conf 7 A4 DS	47,2	69,4	52,3						
	Conf 1 KK-W				35,9	40,1	35,1	31,3	31,0	30,6
	Conf 1 KK-O				24,6	25,2	27,0	33,7	46,2	39,8
	Conf 1 GPD-W				33,5	26,8	22,7	30,7	29,8	23,5
	Conf 1 GPD-O				26,3	24,2	23,5	28,0	28,7	27,9

Tabel 2 De jaargemiddelde NO₂-concentraties voor de configuraties zonder luchtmaatregelen. Overschrijdingen zijn weergegeven in rood.

De rode cellen geven de concentraties weer boven de grenswaarde voor de jaargemiddelde concentraties NO₂. De cijfers laten zien dat er zonder luchtmaatregelen er vooral een probleem bestaat bij de noordelijke tunnelmond van de A4 Delft-Schiedam. Op een punt na, worden er bij de tunnelmonden van de Keizer Karel tunnel en van de tunnel Gaasperdammerweg volgen uit de uitgevoerde schaalmodelproeven voor deze tunnel geen jaargemiddelde concentraties NO₂ boven de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De overschrijdingen vinden plaats op 10 meter van de wegrand.

De vergelijking dringt zich op waarom het beeld voor de tunnels van SAA veel positiever uitpakt als voor de noordelijke tunnelmond van A4 Delft-Schiedam. Een tweetal factoren lijken daarbij een rol te spelen. Ten eerste geldt voor SAA in 2018 een veel lagere achtergrondconcentratie als voor A4 DS in 2016, namelijk 2 tot 4 microgram/ m^3 lager. Ten tweede en dat lijkt de meest bepalend factor bestaan de tunnels van SAA (met uitzondering van de oostelijke tunnelbuis van de Keizer Karel tunnel) uit een hoofd- en parallelbanensysteem. Aan de buitenkant van de A9 liggen de parallelbanen en aan de binnenkant de hoofdrijbanen. Het meeste verkeer wordt op de hoofdrijbanen

afgewikkeld. De receptorpunten zijn gesitueerd vanaf 10 meter van de buitenste (parallel)rijbanen. Dit betekent dat deze receptorpunten op geruime afstand liggen van de belangrijkste bron (emissies vanwege verkeer op de hoofdrijbanen). Het is aannemelijk dat daarmee de resultaten van de praktijkproefmetingen gunstig worden beïnvloed.

2. Hoe groot is het gebied dat door de emissies uit de tunnelmond wordt beïnvloedt?

In de Regeling beoordeling luchtkwaliteit 2007 worden de emissies uit tunnelmonden uniform over de eerste 100 meter na de tunnelmond verdeeld. De langsprofielen, weergegeven in Figuren 18 tot en met 22, bieden inzicht in hoeverre die aan rekenkundige aanpak voor deze tunnelmonden toepasbaar is.

Er is in geen van de configuraties sprake van een uniforme verdeling van de tunnelmond-emissies. Het concentratieverloop is sterk afhankelijk van de exacte tunnelmond-configuratie (hoogteligging) en omgevingskarakteristieken.

In onderstaande tabel staan de schattingen van het invloedsgebied van de tunnelmondemissies:

Tunnel	Invloedsgebied
Gaasperdammertunnel west	100
KeizerKarel west	300
KeizerKarel oost	300
A4 Delft-Schiedam	200-300 (afhankelijk van de configuratie)

De tunnelmond van A4 DS (rechte tunnelmond) en uitkomend in een open gebied met weinig mogelijk verstoring van omgevingskarakteristieken (geen bebouwing) maakt het tunnelmondeffect goed zichtbaar met een zeer hoge NO₂-concentratie op 50 meter afstand, die vervolgens met ca 28 microgram/m³ afneemt op 300 meter afstand van de tunnelmond. Het tunnelmondeffect is ook zichtbaar aan de zuidzijde van de oostelijke tunnelmond van de Keizer Karel tunnel. Ook hier de hoogste NO₂-concentratie op 50 meter die vervolgens met ongeveer 16 microgram/m³ afneemt op 300 meter afstand van de tunnelmond.

Indien de configuratie van de tunnelmond en omgevingskarakteristieken niet dominant zijn voor de metingen mag worden aangenomen dat een bijdrage vanuit de tunnelmond voor jaargemiddelde NO₂-concentraties 10-30 microgram/m³ kan bedragen. De grootste effecten treden volgens de metingen de eerste 50 meter op, behalve voor maatregelen die de uitstroom over een grotere afstand verdelen, zoals het emissiedak. Bij afzuiging is de uitstroomsnelheid lager bij de tunnelmond. Hierdoor wordt het invloedsgebied kleiner, maar is mogelijk het concentratiemaximum hoger.

In het algemeen kan gesteld worden dat het uniform verdelen over 100 meter van de tunnelmondemissies een conservatieve schatting is op grond van de hier onderzochte

tunnelmonden. Het invloedsgebied strekt uit tot circa 300 meter. Helaas kan niet geconcludeerd worden dat dit leidt tot conservatieve schattingen. De reden hiervoor is dat de uniforme verdeling niet opgaat. Lokale maxima in het concentratieverloop leiden mogelijk tot overschrijdingen die niet berekend worden als gevolg van de uniforme verdeling.

3. Is de verwachting gegrond dat in vergelijking met geen of met andere luchtmaatregelen een systeem met een hoge mate van afzuiging van emissies (respectievelijk 50% of 70%) leidt tot veel lagere zo niet de laagste concentraties NO₂ in een tunnelmond gebied?

Bij zowel de KeizerKareltunnel als de Gaasperdammertunnel zijn met schermen vergelijkbare of betere verbeteringen te halen dan met afzuiging. Bij de KeizerKareltunnel aan de westzijde worden gemiddeld genomen vergelijkbare verbeteringen gehaald met de 9 meter hoge schermen, aan de oostzijde leveren de 4 meter hoge schermen zelfs een duidelijke verbetering op. Bij de Gaasperdammertunnel worden vergelijkbare verbeteringen gehaald met de 5 en 6 meter hoge schermen, de 12 meter hoge schermen leveren een verbetering op ten op zichte van afzuiging. Voor deze tunnels geldt dus dat 70% afzuiging niet tot de laagste concentraties in het tunnelmondgebied leidt.

Voor de tunnel A4 Delft-Schiedam zou dat wellicht nog verwacht kunnen worden omdat het slechts om 50% afzuiging gaat en bovendien deze maatregel gecombineerd is met andere maatregelen als het emissiedak en de verschoven tunnelbuis. Alleen op 50 meter afstand vanaf de tunneluitgang scoort de configuratie met het afzuigingsysteem het best van alle onderzochte configuraties. Gemiddeld genomen over de afstand tot 300 meter (het invloedsgebied van de tunnelmond emissies) geldt dat niet.

Dit al leidt niet tot de conclusie dat een afzuigingsysteem geen effect sorteert. Dat is gezien de hoge mate van afzuiging van de emissies natuurlijk wel het geval. Afhankelijk van de zijde van de weg en afhankelijk van de afstand ten opzichte van de tunneluitgang moet het tunnelafzuigingsysteem het soms afleggen ten opzichte van 1 of soms 2 andere configuraties. Bij de volgende vraag wordt hierop nader ingegaan.

4. Hoe scoren alternatieve luchtmaatregelen ten opzichte van een maatregel waarbij emissies vanuit de tunnel via schoorstenen worden afgezogen?

Bij de tunnel A4 Delft-Schiedam is er het opmerkelijke beeld dat het afzuigingsysteem het beste scoort op een afstand van 50 m, maar vervolgens andere configuraties qua prestatie voorgaan op 0 en 300 meter afstand vanaf de tunneluitgang. Opvallend is dat op deze afstand de verschoven tunnelbuis zonder verdere luchtmaatregelen relatief goed scoort. Dit beeld valt te verklaren uit de overige gehanteerde luchtmaatregelen, waar onder (5) nader op ingegaan wordt.

Bij zowel de KeizerKareltunnel als de Gaasperdammertunnel zijn met schermen vergelijkbare of betere verbeteringen te halen dan met afzuiging. Bij de KeizerKareltunnel aan de westzijde worden gemiddeld genomen vergelijkbare verbeteringen gehaald met de 9 meter hoge schermen, aan de oostzijde leveren de 4 meter hoge schermen zelfs een duidelijke verbetering op. Bij de Gaasperdammertunnel worden vergelijkbare verbeteringen gehaald met de 5 en 6 meter hoge schermen, de 12 meter hoge schermen leveren een verbetering op ten op zichte van afzuiging.

Het plaatsen van luchtschermen biedt dus een goed alternatief voor het afzuigen van tunnelmondemissies. Bij lage schermen van circa 6 meter is al gelijkwaardige resultaten gehaald als bij 70% afzuiging. Wel komt uit de resultaten duidelijk naar voren dat de effectiviteit van de schermen sterk afhankelijk is van de omgevings- en tunnelkenmerken.

5. Hoe doen de onderzochte meer innovatie maatregelen het ten opzichte van de andere meer gangbare luchtmaatregelen?

Een aantal onderzochte maatregelen kunnen als innovatief worden beschouwd. Dat zijn:

- De configuratie met een emissiedak (onderzocht bij de tunnel A4 Delft-Schiedam)
- De configuratie met een emissiewand (onderzocht bij de tunnel Gaasperdammerweg)
- De configuratie met schoepen (onderzocht bij de tunnel A4 Delft-Schiedam)
- De configuratie met geknikte schermen (onderzocht bij de tunnel Gaasperdammerweg)
- Het verlengen van de tunnelbuis voor de ingaande verkeersstroom (onderzocht bij de tunnel A4 Delft-Schiedam)

TNO concludeert ten aanzien van het emissiedak dat weliswaar sprake is van een geleidelijker concentratieverloop maar tegelijkertijd ook zorgt voor hogere concentraties. Bij de configuratie met gaten in de zijwand treedt hetzelfde effect op.

Voor wat betreft de configuratie met schoepen is het resultaat teleurstellend. Alleen op 0 meter afstand vanaf de tunneluitgang treedt er een zeer positief effect op vanwege het systeem. Daarna niet meer. TNO concludeert dat de schoepen de uitstroom wel blokkeren maar niet omhoog geleiden.

Tenslotte lijkt qua prestatie het geknikte schermen ten opzichte van een recht scherm een averechts effect te hebben. Geen verbetering derhalve.

Het verlengen van de westelijke tunnelbuis bij de tunnel A4 Delft-Schiedam blijkt slechter te scoren dan in de situatie dat de beide tunnelbuizen gelijk zijn opgelijnd.

De conclusie is dus gerechtvaardigd dat de onderzochte innovatieve maatregelen niet gebracht hebben van hetgeen ervan gehoopt werd. Wellicht dat verdere optimalisatie van deze maatregelen tot betere resultaten zouden kunnen leiden maar de verwachtingen zijn bepaald niet hoog gespannen.

6.4 Conclusies

De resultaten van de uitgevoerde windtunnelonderzoeken lijken voeding te geven voor een aantal slotopmerkingen van concluderende aard:

1. Bij tunnelmonden treden verhoogde concentraties NO₂ op. Het invloedsgebied voor deze tunnelmonden is minimaal 100 meter.
2. Het concentratieverloop in het tunnelmondgebied is sterk afhankelijk van de lokale omgevingskenmerken en het ontwerp van de tunnel. De rekenregels uit de regeling beoordeling luchtkwaliteit zijn niet op voorhand conservatief te noemen.
3. De resultaten van het windtunnelonderzoek laten zien dat alleen bij configuraties zonder maatregelen op 10 meter afstand van de wegrand in de tunnelmond van A4 Delft-Schiedam en op één punt in de oostelijke tunnelmond van de Keizer Karel tunnel

jaargemiddelde concentraties NO₂ opleveren boven de 40 µg/m³. Uitdrukkelijk wordt gesteld dat deze concentraties geen indicaties vorm over wel of niet overschrijding van de wettelijke toetswaarden omdat op 10 meter is gemeten en dus dientengevolge geen rekening is gehouden met het toepasbaarheidsbeginsel.

4. Configuraties met afzuiging van emissies leiden niet op elke afstand ten opzichte van de tunneluitgang en niet altijd aan beide zijden van de rijksweg tot de beste prestatie, i.c. de laagste concentraties NO₂.
5. Configuraties met schermen – hoog of laag – leiden afhankelijk wederom van de afstand ten opzichte van de tunnelmond en afhankelijk van de zijde van de weg tot vergelijkbare en soms lagere concentraties NO₂ dan in geval van de configuratie met afzuiging.
6. De onderzochte innovatieve maatregelen hebben tegenvallende resultaten laten zien.

Opgemerkt kan worden dat geen resultaten voor PM10 zijn gegeven. Bij de windtunnel resultaten is geen verslag gedaan over de resultaten van de gemeten PM10-concentraties van de keuze om NO₂ als maatgevende stof voor de vergelijking van tunnelconfiguraties te beschouwen.

7 CFD-methoden

In de huidige praktijk worden in planvormings fase van infrastructuur projecten vaak modelberekeningen uitgevoerd met behulp van modellen die voldoen aan de standaard rekenmethoden 1 of 2. Op het moment dat de grenzen van het toepassingsbereik worden overschreden wordt dit onderzoek aangevuld met windtunnelonderzoek. Deze grenzen worden bijvoorbeeld overschreden als er sprake is van tunnels, landtunnels of sterk verdiepte ligging.

Een alternatieve modeltechniek om emissiesconcentraties in beeld te brengen kan de uitvoering van een CFD-berekening zijn. CFD staat voor Computational Fluid Dynamics. Met deze methode kunnen luchtstromingen in een 3D-model bepaald worden. De emissies van luchtverontreiniging worden met randvoorwaarden aan het model opgelegd, zodat de verdunning en verspreiding van de luchtverontreiniging in het 3D-model meegenomen wordt. In CFD-modellen speelt de modellering van de turbulentie een belangrijke rol. Zowel het K- ϵ model als Large-Eddy-Simulation (LES) worden gebruikt - er is geen literatuur gevonden waaruit blijkt welke van de 2 turbulentie modellen tot de meest betrouwbare resultaten leidt. Dat is anders voor brand: daarin blijkt dat een modellering met LES tot betere resultaten leidt als met een K- ϵ model. Er zijn theoretische overwegingen om te stellen dat LES beter is. K- ϵ is een steady state benadering, terwijl LES in staat is het grillige verloop in de tijd van turbulentie te beschrijven.

Luchtverontreiniging berekenen met CFD kan eigenlijk gezien worden als een "digitale windtunnel". In de echte windtunnel en de "digitale windtunnel" worden voor een groot gedeelte dezelfde aannames aangehouden en gelden dezelfde beperkingen zoals:

- een neutrale grenslaag. Er wordt in beide gevallen geen rekening gehouden met stabiele of onstabiele grenslagen;
- overgang van opbouw van een grenslaag naar definiëren van bebouwing. In beide gevallen wordt ergens een "knip" gelegd en worden de individuele gebouwen in het onderzoek meegenomen;
- de blokkeringsgraad van de bebouwing in relatie tot de hoogte en breedte van de tunnel mag niet groter worden dan 5% á 10%. Er worden een beperkt aantal metingen gedaan voor één situatie, bijvoorbeeld 12 of 24 windrichtingen.

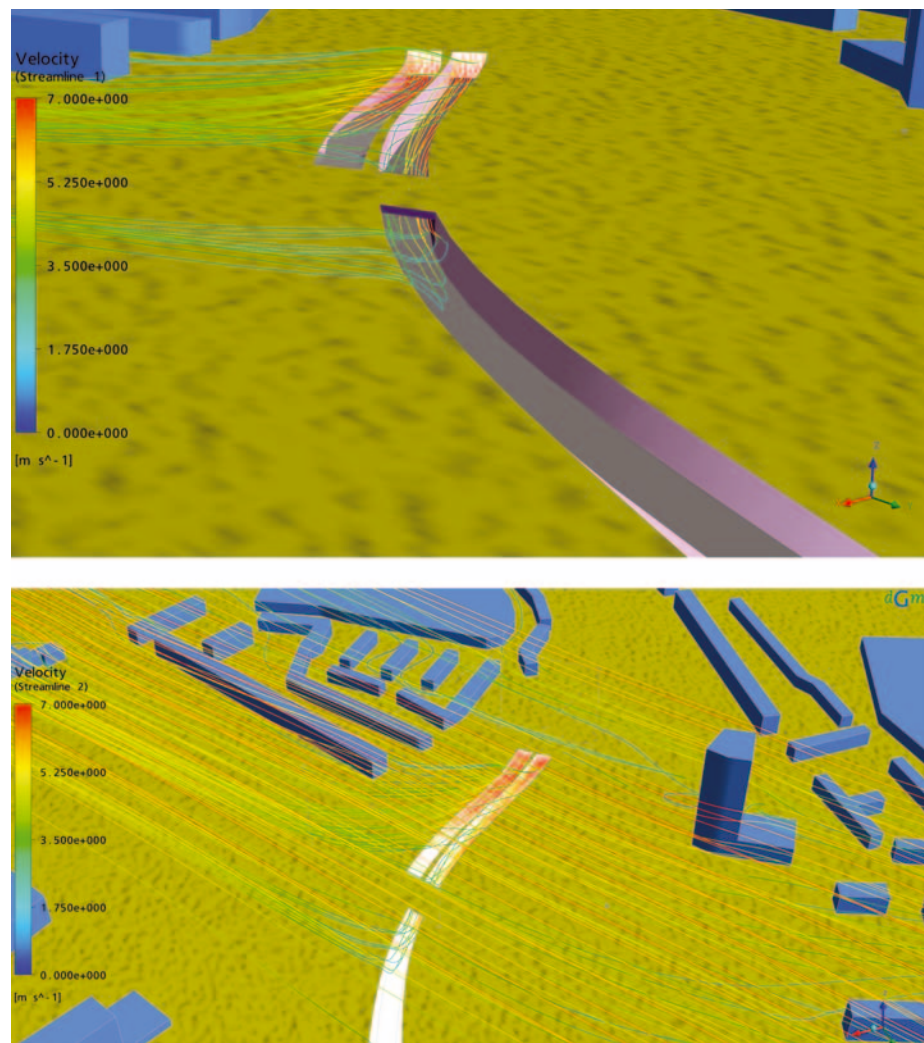
Een "digitale windtunnel" heeft verschillende voordelen ten opzichte van de echte windtunnel:

- "overall" resultaten. Met CFD wordt de luchtverontreiniging overal vastgelegd. Dit in tegenstelling tot de windtunnel, waarbij op een beperkt aantal punten de concentraties worden vastgesteld. Met CFD wordt een belangrijk meetpunt nooit "vergeten";
- De grootte van het domein. Met de "digitale windtunnel" ligt de grootte van het domein niet vast en kan het domein altijd groter gekozen kan worden, terwijl in windtunnel de hoogte en de breedte fysiek vastliggen;
- Inzicht in het verloop van stromingen. In een echte windtunnel is het vaak gissen waarom een maatregel wel of niet werkt. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat een echte windtunnel geen informatie geeft over de luchtstromingen. De resultaten in een CFD-berekening geven juist wel inzicht over hoe luchtstromingen door het domein bewegen. Op deze manier kunnen effecten beter verklaard worden en kan een betere voorspelling gegeven worden of maatregelen wel of niet gaan werken;

- Beschikbaarheid. Er zijn maar een beperkt aantal windtunnels in Nederland en uitbreiding is niet te verwachten. Door middel van CFD zijn er meer "digitale windtunnels" in Nederland en het aantal is onbeperkt;
- Met CFD kunnen ook thermische en chemische processen berekend worden. Een voorbeeld hierbij is de absorptie van NO_x met behulp van titaniumoxide;
- Beperkingen van een windtunnel. Stromingen door openingen die kleiner zijn dan circa 3 meter kunnen niet goed gemodelleerd worden in schaalmodellen. In CFD bestaat deze beperking niet. Men kan hierbij bijvoorbeeld denken aan luchtstromingen door zogenaamde dubbele schermen of kleine openingen in het tunneldak of de tunnelwanden.

Toepassing van CFD kent echter ook een aantal nadelen. Een aantal daarvan zijn:

- De resultaten zijn sterk afhankelijk van de kwaliteit en keuze van de ingevoerde gegevens;
- De interpretatie van de resultaten vereist tamelijk veel expertjudgement;
- Kwaliteit en uniformiteit van CFD-simulatie is moeilijk te handhaven.



Figuur 29 Voorbeeld van stroomlijnen die inzicht geven in de luchtstromingen in het model

CFD modellering kan een welkome aanvulling zijn op windtunnelmetingen en is bij uitstek geschikt voor het uitvoeren van gevoeligheidsanalyses waarbij gevarieerd kan worden in verschillende uitvoeringsoplossingen. Daarbij valt te denken aan variatie in locatie, hoogte en vormgeving van tunnelmond.

CFD-modellering ten behoeve van het in kaart brengen van concentraties in de buitenlucht is in Nederland nog in ontwikkeling. In andere landen (bijvoorbeeld Duitsland) is het gebruik van CFD-modellering ten behoeve van luchtkwaliteit meer ingeburgerd. Het is een relatief nieuwe technologie die vooral in de acceptatie nog een stap heeft te maken. CFD modellering vraagt relatief veel rekenkracht en -tijd, specifieke software en geschoolde kennis.

Inmiddels zijn een aantal CFD-modellen, zoals Winmiskam, Ansys Fluent, Ansys CFX en Fluidyn, beschikbaar waarmee concentraties in de buitenlucht kunnen worden uitgerekend. Geen van deze modellen zijn in het kader van artikel 72 van de Regeling beoordeling luchtkwaliteit door VROM al geaccepteerd. Van harmonisatie tussen CFD-modellen is nog geen sprake. Er bestaat nog geen vastgesteld protocol, zoals bij windtunnelonderzoek, met geüniformeerde modelvereisten.

Tegen deze achtergrond is het interessant hoe de uitkomsten van CFD-modellering zich verhouden ten opzichte van berekeningen en ten opzichte van veld- en windtunnelmetingen. Het benchmark-onderzoek dat in opdracht van het IPL en het CFD-onderzoek dat door Arcadis in opdracht van/samenwerking met het COB is uitgevoerd geeft hiervoor een indicatie.

In het onderzoek wordt geconstateerd dat de met het CFD model (Winmiskam) berekende concentraties dichtbij de tunnelmond vrij hoog zijn en daarna snel afnemen. Deze emissieconcentratie zijn relatief hoog dichtbij de tunnel en relatief laag op verdere afstand van de tunnel in vergelijking met de windtunnelmeting (A4 Delft Schiedam) en de veldmeting (Wijkertunnel). Als verklaring geeft Arcadis dat in WinMiskam geen rekening wordt gehouden met de optredende jetwerking. Deze constatering is niet representatief voor alle CFD-modellen; er zijn modellen waarin wel de impulsstroming uit de tunnelmond kan worden gemodelleerd. In een ander project – de tunnel in de A2 te Maastricht – heeft DGMR aangetoond dat het wel of niet meenemen van de jetwerking mogelijk is en een significant verschil geeft in de berekende concentraties.

Het benchmark onderzoek van RWS-IPL geeft inzicht in het verschil in resultaten tussen de in het veld gemeten emissieconcentraties en de emissieconcentraties als berekend met een aantal CFD-modellen en wel ter plaatse van Nulde waarin de werking van verschillende luchtschermen zijn beproefd. In het rapport van de benchmark wordt geconcludeerd dat de resultaten van de met verschillende CFD modellen berekende schermeffecten in vergelijking met elkaar en in vergelijking met de veldmeting nog substantieel verschillen. Wanneer echter wordt gekeken naar de betrouwbaarheidsintervallen van de metingen en de CFD-berekeningen dan kan men hoogstens zeggen dat de betrouwbaarheid van CFD in dezelfde orde van grootte ligt als de metingen omdat ze allebei een grote spreiding hebben. In tegenstelling tot de conclusie in het benchmark rapport van RWS-IPL kan dus niet worden uitgesloten dat de metingen en de berekeningen beide juist zijn. Een groot aantal verschillen tussen de verschillende berekeningen kan verklaard worden doordat verschillende subsystemen zijn aangehouden zoals:

- Bomen worden op verschillende manieren gemodelleerd.
Dit heeft een significante invloed;
- De luchtbewegingen veroorzaakt door het verkeer zijn op verschillende manieren gemodelleerd. Ook dit heeft een significante invloed op de resultaten.

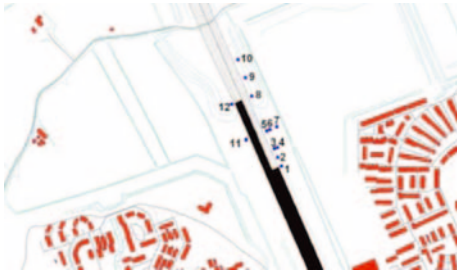
Een belangrijke conclusie die hieruit getrokken kan worden is dat het belangrijk is dat de gebruikte modellen, submodellen en randvoorwaarden in de "digitale windtunnel" gestandaardiseerd gaan worden. De benchmark die is uitgevoerd en de workshop die is gehouden, beide in het kader van het Innovatieplatform Luchtkwaliteit, geven een aantal aandachtspunten mee die bij de verdere ontwikkeling van CFD-modellering zouden moeten worden betrokken. Het gaat dan met name om een aantal te hanteren modeltechnische uitgangspunten ten aanzien van bijvoorbeeld de afmetingen van het rekendomein, regelmatig of onregelmatig grid, atmosferische stabiliteit, windprofielen, ruwheidslengte, turbulentiemodel, het door het verkeer geïndiceerde luchtstroom waarbij zoals hierboven al gesteld een protocol een goed instrument kan zijn op tot harmonisatie en uniformering in CFD-modellering te komen.

Een interessante parallel kan getrokken worden met de benchmark referentiestudie NIFV | IBPSA-NVL | TU/e Dit is onder andere gerapporteerd in "*Deelrapportage Resultaten 2^e casus Atrium met brand in aangrenzende ruimte*" van juli 2009. Hierbij hebben elf partijen dezelfde drie casussen berekend. Het ging hierbij om een brand in een atrium. Er waren geen metingen beschikbaar. Een aantal partijen zaten er ver naast, door fouten, maar een heleboel overige verschillen lieten zich min of meer verklaren door verschillen in randvoorwaarden, gebruikte modellen en submodellen e.d. Ook hier geldt dat dit soort keuzes significante verschillen liet zien in de resultaten. Ook hier geldt dat harmonisatie de verschillen tussen de verschillende partijen zou verkleinen. Voor CFD-modellering geldt in principe hetzelfde. Pas wanneer deze harmonisatie of standaardisatie heeft plaatsgevonden kan er sprake zijn van een consistente geharmoniseerde/uniforme rekenmethode.

In West-Europa – met name Duitsland – wordt veel gebruik gemaakt van het CFD model WinMiskam. Met dit model zijn ten behoeve van het COB onderzoek door Arcadis 2 situaties doorgerekend. Zowel de noordelijke tunnelmond van de geplande tunnel op de A4 Delft-Schiedam als de zuidelijke tunnelmond van de Wijkertunnel op de A9 zijn berekend. Voor de geplande tunnel op de A4, zijn door TNO windtunnel berekeningen¹ uitgevoerd. Aan de zuidelijke tunnelmond van de Wijkertunnel zijn door M+P metingen² verricht. De resultaten van de WinMISKAM berekeningen zijn vergeleken met windtunnel berekeningen en daadwerkelijke metingen. Voor een uitgebreide beschrijving van de uitgangspunten, aannamen en grafische weergaven wordt verwezen naar de rapportage van Arcadis 'WinMiskam berekeningen aan tunnelmonden Wijkertunnel en Tunnel A4 Delft-Schiedam', ref. B02013/CE0/008/000082, d.d. 29 april 2010.

Noordportaal van de tunnel op de A4 Delft-Schiedam

De meetlocaties zoals door TNO bepaald zijn aangegeven in Figuur 30.



Figuur 30 Situatie noordelijk tunnelportaal tunnel A4 Delft Schiedam

De vergelijking is gemaakt voor de stoffen NO₂ en PM10:

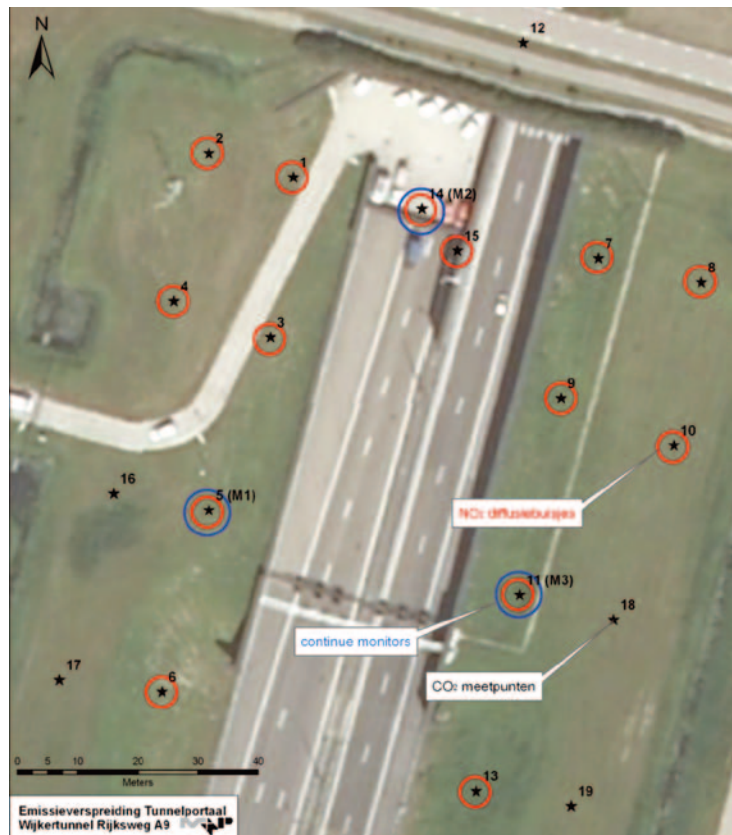
Receptorpunt nummering	Windtunnel TNO NO ₂ [µg/m ³]	PM10 [µg/m ³]	WinMISKAMmodel NO ₂ [µg/m ³]	PM10 [µg/m ³]
1	35,5	26,3	43,5	33,6
2	58,4	33,2	47,3	35,3
3	64,2	35,1	35,7	30,1
4	48,0	29,8	30,4	27,7
5	50,3	30,8	35,3	29,9
6	43,4	28,7	31,9	28,4
7	35,9	26,7	27,5	26,4
8	36,9	27,2	27,9	26,6
9	34,8	26,5	25,0	25,2
10	33,1	26,2	24,1	24,9
11	35,2	27,2	24,4	25,1
12	31,2	25,7	23,0	24,4

Figuur 31 Vergelijking resultaten windtunnel met WinMiskam voor tunnel A4 Delft Schiedam

Bovenstaande resultaten geven aan dat in het WinMISKAM model de concentraties dichterbij de tunnelmond vrijkomen dan in het windtunnel model. En de concentraties op receptorpunten verder van de tunnelmond af dus lager zijn in het CFD model dan de gemeten waarden in het schaalmodel van TNO. Op punten op lange afstand met de weg mee (3, 5, 6, 8, 9 en 10), is dit duidelijk te zien. Op punten 8, 9 en 10 is dit verschil minder duidelijk. De gemeten waarden voor NO₂ zijn in het schaalmodel, behalve direct naast de tunnelmond, hoger dan in het CFD model.

Zuidportaal van de Wijkertunnel op de A9

De vergelijking is gemaakt met de passieve metingen van NO₂ volgens de meetposities zoals door M+P aangegeven.



Figuur 32 Situatie zuidelijk portaal Wijkertunnel

Voor de fijnstof concentratie op punten M1 en M3, stelt M+P dat de wegbijdrage daar ongeveer 4-5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bedraagt. Volgens het WinMISKAM model bedraagt de wegbijdrage op deze punten 1,3 – 2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Op deze punten is ook de NO₂ concentratie lager in het CFD model dan bij de werkelijke metingen. Uit de resultaten is op te maken dat de concentraties uit het WinMISKAM model rondom de tunnelmond een stuk hoger liggen dan bij de werkelijke metingen. Verder van de tunnelmond af, zijn de concentraties juist lager dan in de werkelijke situatie (duidelijk bij punten 5, 6, 11 en 13).

In WinMiskan kan wel een verhoogde emissie uit het tunnelportaal worden gemodelleerd maar aan de luchtstroming uit de tunnel kan geen impuls worden meegegeven. Daardoor ontbreekt een 'jet-werking'. Dat zou een verklaring kunnen vormen waarom met het CFD-model nabij de tunnelmond een hogere concentratie en op grotere afstand juist een lagere concentratie wordt gevonden dan in de schaalmodellen is gemeten. In de schaalmodellen heeft de luchtstroom uit het tunnelportaal wel een impuls.

De vergelijking is gemaakt voor de stof NO₂:

Meetlocatie	Concentratie NO, bij metingen M+P NO ₂ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Concentratie NO ₂ bij WinMISKAMmodel NO ₂ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
1	22,0	34,8
2	21,8	28,8
3	27,6	30,4
4	22,4	26,7
5	27,9	25,1
6	38,5	24,0
7	25,8	45,3
8	24,0	31,1
9	29,1	43,1
10	25,8	29,0
11	31,3	28,8
12 ⁵	32,6	-
13	32,9	27,2
14 ³	123,3	-
15	22,0	139,5

Figuur 33 Vergelijking praktijkmetingen met WinMiskam zuidelijk portaal Wijkertunnel

Arcadis merkt in zijn rapportage op: *“Het WinMISKAM model kent veel instellingen en een aantal aannames die moeten worden gedaan. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het vrij laten komen van emissie over een bepaalde afstand van de tunnelmond. De vele instellingen, zoals de hoogte van de turbulentie die het verkeer met zich meebrengt, heeft grote gevolgen voor de te berekenen waarden. Omdat er geen richtlijnen zijn voor het gebruik van het model, zullen verschillende instanties verschillende waarden berekenen.”*

Tevens wordt in de conclusies gesteld: *“Het WinMISKAM model is voor het doorrekenen van tunnels ‘nog’ niet optimaal, omdat er geen standaarden zijn, waarmee tunnels moeten worden gemodelleerd. Daardoor is de reproduceerbaarheid laag. De aannames die moeten worden gedaan, zijn nog maar in beperkte mate onderzocht.”*

Hetgeen in deze studie is gevonden stemt overeen met hetgeen eerder in algemene zin over gebruik van CFD is gesteld. De afwijkingen kunnen groot zijn, vooral er veel verschillende instellingen en aannames moeten worden gedaan.

8 Bevindingen en Conclusies

Bij tunneluitgangen en bij openingen in tunnels komen verhoogde concentraties verkeersemmissie voor. Voor het bepalen van deze concentraties zijn in Nederland wettelijke rekenmethoden voorgeschreven. In praktijk blijken de uitkomsten af te wijken van schaalmodelmetingen, soms in mindere mate, soms in aanzienlijke mate. De berekende waarden zijn soms lager dan gemeten in een schaalmodel en soms hoger, beide soms zelfs in aanzienlijke mate. Bij verschillende projecten zijn op basis van de berekende waarden kostbare voorzieningen noodzakelijk en in aanbouw, terwijl op basis van schaalmodelmetingen die voorzieningen misschien achterwege hadden kunnen blijven of in beperkte mate hadden kunnen worden aangebracht. Zowel berekeningen als schaalmodelmetingen zijn slechts een weerspiegeling van de werkelijkheid. Gebleken is dat het is niet duidelijk is in welke mate de uitkomsten van onderzoek overeenstemmen met de werkelijkheid.

Het onderzoek heeft aangetoond dat er aanleiding is verder te gaan met een ontwikkeling gericht op het bereiken van een nauwkeuriger inschatting van de concentraties stikstofdioxide en fijn stof in de nabijheid van tunnelmonden. Ook het effect van passieve maatregelen op deze concentraties zou dan nauwkeuriger moeten worden vastgesteld. Het effect van een maatregel kan in principe het beste in het veld worden gemeten, mits gezorgd wordt dat de metingen aan daarvoor geldende criteria voldoen. Als doelstelling kan dan worden geformuleerd dat berekende concentraties of in een windtunnel gemeten concentraties zo dicht mogelijk in de buurt liggen van de concentraties die in het veld zouden zijn gemeten. Daarbij geldt het kwaliteitskader zoals beschreven in artikel 65 en 72 van de Regeling beoordeling luchtkwaliteit 2007 (RBL 2007).

Binnen het hierboven gestelde perspectief is er aanleiding:

- Voor een verdere ontwikkeling van de rekenregels in het RBL 2007, waarbij het aanbeveling verdient hierbij reeds ontwikkelde buitenlandse methoden te betrekken.
- Te komen tot nadere besluitvorming over de validatie van CFD-modellen en aanbevelingen op te stellen voor het gebruik van deze modellen in praktijk.
- Aanvullende regels voor het uitvoeren van windtunnelonderzoek en het toepassen van de resultaten daarvan op te stellen.

Hiervoor is het nodig om met deskundige partijen een wetenschappelijke onderzoek uit te voeren over meerdere jaren, waarbij tegelijkertijd over meerdere tunnelportalen data beschikbaar komt uit SRM2-berekeningen, windtunnelonderzoek, CFD simulaties en praktijkmetingen. Daarbij wordt sterk aanbevolen meerdere verschillende onderzoeksmethoden op hetzelfde tunnelportaal uit te voeren. Daarmee kan een solide analyse worden gedaan op bepalingsmethoden van luchtkwaliteit bij tunnelportalen en kan betrouwbaarder worden vastgesteld welke concentraties voor komen bij tunnelmonden en welke methode het meest geschikt is, dan wel wat verbeterd kan worden.

Bovenstaande ontwikkeling kan niet los worden gezien van het Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit. Ook voor dit programma verdient het aanbeveling te komen tot opname van voor tunnelmonden door windtunnelmeting of door berekening meer nauwkeurig bepaalde concentraties stikstofdioxide en fijn stof. Of dit zal leiden tot het wel

of niet overschrijden van de voor deze stoffen geldende grenswaarden is sterk afhankelijk van de resultaten van generiek beleid zoals deze in de toekomstige achtergrondconcentraties tot uitdrukking zal komen.

Bijlage 1 Rapporten

De volgende rapporten behoren bij dit onderzoek:

1. J.W. Huijben, M. Rikkelman, COB
Literatuuronderzoek Emissieverspreiding bij Tunnelportalen.
T118/K1, 2 april 2010.
2. J.W. Huijben, M. Rikkelman, COB
Metingen Luchtkwaliteit bij de Wijkertunnel.
T118/K2, 2 april 2010.
3. J. Oudelaar, Ch. Tollenaar, Th. van Bon, J. Hoogwerff, M+P Raadgevende Ingenieurs
Onderzoek Luchtkwaliteit - Emissieverspreiding bij tunnelportalen, Wijkertunnel A9.
13 november 2009.
4. J. Argante, H. Sanders, Arcadis
WinMISKAM berekeningen aan de Wijkertunnel en Tunnel A4 Delft - Schiedam.
29 april 2010.
5. TNO-rapport
TNO-034-UT-2010-00747_RPT-ML (tunnel A4 Delft-Schiedam)
6. TNO-rapport
TNO-034-UT-2010-00811_RPT-ML (Keizer Karel tunnel)
7. TNO-rapport
TNO-034-UT-2010-00826_RPT-ML (Gaasperdammertunnel)

De bijlagen zijn op CD-rom bij dit rapport gevoegd.

Bijlage 2 Deelnemers Commissie T118

Voor de uitvoering van dit onderzoek is door het COB een commissie T118 Tunnels en Luchtkwaliteit ingesteld. De commissie bestond uit de volgende leden:

Naam	Organisatie	Functie
B. Viveen	Rijkswaterstaat	voorzitter T118
J.W. Huijben	h3mhuijben Consultancy	coördinator T118
B. van Rangelrooij	Rangelrooij Consultancy	secretaris T118
L. Postma	Rijkswaterstaat	lid
P. Havermans	Rijkswaterstaat	lid
Th. Cornelissen	Rijkswaterstaat / Oranjewoud	lid
M. Mijnders	Rijkswaterstaat / DHV	lid
G. van Bodegom	Rijkswaterstaat	lid
M. Ludeking	Rijkswaterstaat	lid
N. Lanser	Rijkswaterstaat / Royal Haskoning	lid
W. Jansen	Rijkswaterstaat	lid
E. Meijer	TNO	lid
G. Visser	TNO	lid
R. Koch	TNO	lid
J. Hooghwerff	M+P Raadgevende Ingenieurs	lid
H. van Leeuwen	DGMR	lid
F. Blank	KEMA	lid
M. Meijer	Gemeentewerken Rotterdam	lid
H. Sanders	Arcadis	lid
S. Teeuwissen	DHV	lid
F. van Weert	Cauberg Huijgen	lid
S. Jak	AT Osborne	auditor namens COB
R. de Boer	Rijkswaterstaat	auditor namens COB
P.B. van Breugel	DCMR Milieudienst Rijnmond	auditor namens COB

De rapportage is namens COB opgesteld door J.W. Huijben en B. van Rangelrooij.

COB – Nederlands kenniscentrum voor ondergronds bouwen en ondergronds ruimtegebruik

Het Nederlands kenniscentrum voor ondergronds bouwen en ondergronds ruimtegebruik (COB) heeft tot doel om kennis, kunde en innovatie voor ondergronds ruimtegebruik en ondergronds bouwen te ontwikkelen. Dit doet COB door praktijkonderzoek en door samenwerking binnen een netwerk van deskundigen. Kennis komt tot stand in een publiekprivate, maatschappelijke context, om te komen tot resultaten die breed worden geaccepteerd en die leiden tot een verantwoorde toepassing met maatschappelijk en economisch rendement. COB bestaat sinds 1995 en maakt deel uit van CURNET.

Consortium DC-COB

Door het ondertekenen van de overeenkomst 'Consortium Ondergronds Bouwen' d.d. 18 december 2003 bevestigen COB en Delft Cluster de voorgenomen plannen met betrekking tot het uitvoeren van gezamenlijk onderzoek binnen het consortium 'Ondergronds Bouwen'. Bij de formulering van de onderzoeksactiviteiten binnen beide organisaties voor de periode 2003-2010 leek een verdere afstemming van de activiteiten winst voor beide organisaties te kunnen betekenen. Delft Cluster kan profiteren van de goede relaties die het COB heeft opgebouwd met diverse marktpartijen op het gebied van ondergronds bouwen en ondergronds ruimtegebruik. Deze marktpartijen zijn noodzakelijk om te komen tot een uitvoerbaar Bsik-programma voor de periode 2003-2010. Het COB kan van de samenwerking profiteren omdat het een eerste aanzet betekent naar een gezonde financiële basis voor onderzoeksactiviteiten. Daarnaast biedt de samenwerking voor beide organisaties kansen op het gebied van kennisdeling en kennisverspreiding. Dat is de insteek van de twee projecten: Beheerst Boren in Stedelijk Gebied en Innovatief Ondiep Bouwen.

Gemeenschappelijk praktijkonderzoek boortunnels (GPB)

Na het succesvolle verloop van het praktijkonderzoek bij de Tweede Heinoordtunnel en de Botlekspoortunnel bleek het voor vijf nog op handen zijnde Nederlandse boorprojecten efficiënter om het nog benodigde onderzoek te verdelen. Daarom gaven de opdrachtgevers van vijf Nederlandse boortunnelprojecten en COB half september 2000 door de ondertekening van de Overeenkomst Gemeenschappelijk Praktijkonderzoek Boortunnels (GPB) hun goedkeuring aan een masterplan praktijkonderzoek. Onder de paraplu van het Centrum Ondergronds Bouwen bepaalden zij welk onderzoek waar het beste zou kunnen plaatsvinden.

Binnen het masterplan GPB wordt onderzoek gedefinieerd ter plaatse van Westerscheldetunnel (F100), Sophiaspoortunnel (F200), Tunnel Pannerdensch Kanaal (F500), Boortunnel Groene Hart (F510), Noord-Zuidlijn (F530) en RandstadRail (F540). Tijdens de uitvoering van deze boortunnels met grote diameter zullen metingen en experimenten worden uitgevoerd, waarmee de kennis ten aanzien van de geboorde tunnel als bouwmethode wordt vergroot. Hierbij worden ondermeer zaken onderzocht als metingen aan dwarsverbindingen, mogelijkheden tot hergebruik van vrijkomende grond, optreden van zwel van diepgelegen kleilagen, volgen van het boorproces en gerichte evaluatie van meetgegevens. Het betreft dan ook uitvoeringsgerelateerd onderzoek met oog op het verkleinen van risico's en kosten bij toekomstige tunnelprojecten.

De partijen vertegenwoordigd binnen het Platformoverleg GPB

- Managementgroep Betuweroute van NS RailInfrabeheer,
- Projectbureau Noordelijk Holland - Directie HLS-Zuid - Ministerie van Verkeer & Waterstaat,
- Projectbureau Noord-Zuidlijn - Dienst Infrastructuur Verkeer en Vervoer van de Gemeente Amsterdam,
- Centrum Ondergronds Bouwen (COB),
- Projectbureau RandstadRail
- Bouwdienst Rijkswaterstaat - Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat - Ministerie van Verkeer & Waterstaat
- Delft Cluster

● partner curnet

Groningenweg 10
2803 PV Gouda

Postbus 420
2800 AK Gouda

T +31 (0)182 - 540 660
F +31 (0)182 - 540 661

info@cob.nl
www.cob.nl