

Risico's van fijnstof in spoortunnels

ProRail



Datum: 29 maart 2021

Auteur: Drs. ing. P. van Balen MSc, drs. ing. J.G. Willems MBA, Dr. ir. R. Houba

Review en goedgekeurd: Expertteam ProRail; 10 februari 2021

Review en akkoord Stuurgroep *Fijnstof in spoortunnels*; 23 maart 2021

Onderwerp: risico's fijnstof in spoortunnels

Kenmerk: ProRail 2021-01 concept stuurgroep Fijnstof

Inhoud

1. Inleiding	3
1.1 Aanleiding tot het onderzoek	3
1.2 Vraagstellingen	4
1.3 Opzet onderzoek	4
1.4 Indeling rapport	5
2. Werkzaamheden in tunnels	6
2.1 Aanpak	6
2.2 Werkzaamheden	6
2.3 Werkplekbezoek	7
2.4 Indeling werkzaamheden	10
3. Karakteristieken spoortunnels in Nederland	13
4. Risico's	15
4.1 Gevaren	15
4.2 Concentraties in de lucht bij werkzaamheden	15
4.2.1 Inhaleerbaar en respirabel stof	16
4.2.2 Componenten in het stof	21
5. Conclusies en discussie	24
5.1 Geen gezondheidsrisico's door stof in spoortunnels	24
5.2 Adviezen	24
Literatuuroverzicht	26
Overzicht voorafgaande rapporten door PreventPartner	26
Gebruikte bronnen en literatuur	26
Bijlage 1. Organisatie project fijnstof in spoortunnels	28
Bijlage 2 Overzicht werkzaamheden	29
Bijlage 3 Overzicht tunnelkarakteristieken	35
Bijlage 4 Overzicht van de resultaten metingen blootstelling relevante componenten:	36
Bijlage 5 Resultaten direct uitleesbare metingen tijdens inspectie- en onderhoudswerkzaamheden.	38
Bijlage 6 Patroon van stofconcentraties door treinpassages	41
Bijlage 7 Overzicht van de grenswaarden	43
Bijlage 8. Meetresultaten	44

1. Inleiding

In dit hoofdstuk worden de aanleiding van het project, de vraagstellingen, de uitvoering en de opzet van het voorliggende rapport beschreven. Wanneer in de tekst verwezen wordt naar eerdere rapporten van PreventPartner, dan wordt dit aangeduid met letters (A t/m F), de overige bronnen worden aangeduid met cijfers.

1.1 Aanleiding tot het onderzoek en opzet van project

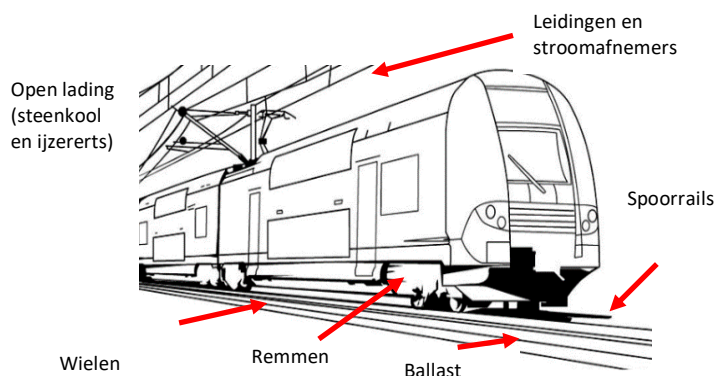
Aanleiding voor het uitvoeren van een onderzoek naar risico's van stof in spoortunnels, was het bericht in februari 2020 dat in spoortunnels concentraties aan stof en metalen waren gemeten die tot wel 80 keer boven de grenswaarde voor beroepsmatige blootstelling lagen [A]. Inmiddels is dit beeld veranderd. In het eerste rapport waren rekenfouten gemaakt en in werkelijkheid blijken de concentraties met een factor 100 te zijn overschat [1].

Vervolgens zijn in een aantal stappen de verschillende aspecten van het probleem onderzocht en is daarover verslag gedaan.

In de internationale literatuur is gezocht naar eerdere blootstellingsonderzoeken in tunnels en in Nederland is gezocht naar studies en rapporten over aanwezige stofconcentraties in spoortunnels. Gegevens uit het literatuuronderzoek en de meetresultaten wijzen allemaal dezelfde kant op. De hoeveelheid stof in de inademiingslucht in spoortunnels lijkt relatief laag te zijn [C]. De concentraties zijn ook zodanig laag dat er geen risico is op explosiegevaar [A].

Via literatuuronderzoek is inzicht wat de bronnen van het stof zijn en welke componenten er daardoor in het stof in tunnels kunnen voorkomen [C].

In onderstaand figuur 1 zijn volledigheidshalve de belangrijkste bronnen van fijnstof nog een keer visueel weergegeven. In deze tunnels wordt materieel gebruikt met verbrandingsmotoren en rijden ook treinen en andere railvoertuigen met dieselmotoren. Het overgrote deel van de emissies uit deze verbrandingsmotoren is gasvormig. Een klein deel is in de vorm van elementair koolstof dat kan neerslaan in het stof. Ook kan met stof vervuilde buitenlucht in tunnels neerslaan. De hoeveelheden zijn echter beperkt in vergelijking met de aangegeven bronnen. Voor meer details wordt verwezen naar de eerdere rapportage [C].



Naast blootstelling aan de achtergrondconcentratie van fijnstof en componenten in het stof kan er ook blootstelling aan stof zijn door het uitvoeren van werkzaamheden in spoortunnels. Stof dat aanwezig is

in de tunnels kan door beroering weer in de lucht worden gebracht en zorgen voor blootstelling van werknemers.

In het kader van het project was al oriënterend gekeken naar de werkzaamheden in tunnels en de blootstelling aan stof die hierbij zou kunnen optreden [A]. De informatie was echter nog niet compleet en onvoldoende om definitieve conclusies te kunnen trekken.

Bij de start van het project *fijnstof in spoortunnels* was:

- het overzicht met uit te voeren werkzaamheden in tunnels waarschijnlijk nog niet volledig, waardoor onzekerheid bestond of relevante werkzaamheden over het hoofd waren gezien;
- er onvoldoende inzicht in hoeverre de omstandigheden in tunnels en de verschillende soorten spoortunnels invloed kunnen hebben op de stofconcentratie;
- er onvoldoende metingen beschikbaar om met voldoende betrouwbaarheid conclusies te kunnen trekken over blootstelling aan stoffen en de risico's daarvan.

Om een uitspraak te doen over het daadwerkelijke gezondheidsrisico's van blootstelling aan stof bij werkzaamheden in spoortunnels, is het nodig om inzicht te krijgen in bovenstaande aspecten.

Dit project is in fases uitgevoerd en een aantal vraagstukken zijn in eerdere rapportages al besproken [A,B,C,D]. Het uiteindelijke doel van het gehele project is om een integraal inzicht te krijgen in de risico's van medewerkers die in spoortunnels werkzaamheden moeten uitvoeren. Deze rapportage geeft een antwoord op deze vraag en kan daarmee worden beschouwd als eindrapportage van het project.

1.2 Vraagstellingen

De hoofdvraagstelling van het volledige onderzoek is:

Zijn er gezondheidsrisico's verbonden aan het werken in spoortunnels als gevolg van blootstelling aan stof dat in die tunnels aanwezig is? Zo ja, zijn er maatregelen nodig om deze risico's te reduceren?

Deze hoofdvraag is onderverdeeld in de onderstaande sub-vragen:

- Hoe wordt er precies gewerkt in spoortunnels (welke handelingen?). Wat is de blootstelling bij deze handelingen? (hoe lang?, hoe vaak?).
- Zijn er, op basis van tunnelkarakteristieken, verschillen in stofblootstelling te verwachten tussen spoortunnels?
- Welke orde van grootte van gezondheidsrisico's worden verwacht op basis van de aard van de samenstelling van het (fijn)stof in tunnels en de mate van blootstelling tijdens werkzaamheden?
- Is de informatie compleet om de risicovraag te kunnen beantwoorden? En zo nee, welke informatie is eventueel nog nodig om de hoofdvraagstelling compleet te beantwoorden, zoals bijvoorbeeld aanvullend onderzoek?
- Zijn op basis van de beschikbare informatie beheersmaatregelen nodig? Zo ja, welke?

1.3 Opzet onderzoek

In bijlage 1 is de organisatie beschreven van het project *Fijnstof in spoortunnels*. De stuurgroep was verantwoordelijk voor de aansturing van, bewaking van de planning , vaststellen van de producten van en communicatie naar stakeholders over het project. De expertgroep ProRail was inhoudelijk verantwoordelijk.

Om een antwoord te geven op de vraagstellingen zijn de inspectie- en onderhoudswerkzaamheden in spoortunnels in meer detail in kaart gebracht. Hiervoor zijn met sleutelinformanten van aannemers alle

mogelijke werkzaamheden in tunnels geïnventariseerd. Samen met de sleutelinformanten zijn op basis van 'expert judgement' inschattingen gemaakt over de relatieve orde van grootte van de blootstelling. Tevens is gekeken naar de invloed van verschillen in tunnel karakteristieken. Dit is gedaan om inzicht te krijgen in mogelijk specifieke factoren van tunnels die kunnen zorgen dat er juist een veel lagere of hogere stofblootstelling kan ontstaan.

Werkzaamheden die plaats vinden bij grootschalige en/of ingrijpende modificaties aan/in een tunnel zijn niet meegenomen in dit onderzoek.

In diverse spoortunnels zijn op projectbasis stofmetingen uitgevoerd en is de samenstelling in materiaal- en luchtmonsters onderzocht. De componenten waarop is geanalyseerd komen voort uit het uitgevoerde literatuuronderzoek naar de mogelijke samenstelling van stof in tunnels [C]. De resultaten van de metingen in tunnels zijn afgezet tegen de gegevens uit de literatuur, vooral om te kunnen bepalen of het beeld consistent is met eerdere onderzoeken in de literatuur. Verder zijn de meetresultaten gebruikt voor de uiteindelijke risico-evaluatie, waarbij de gemeten concentraties zijn getoetst aan gezondheidskundige grenswaarden [D].

1.4 Indeling rapport

De vraag die in dit rapport wordt beantwoord gaat over de gezondheidsrisico's van het in spoortunnels aanwezige stof. Meer specifiek wordt ingegaan op in het stof bepaalde componenten kunnen zitten die als schadelijk voor de gezondheid moeten worden beschouwd. En of deze in zodanige concentraties kunnen voorkomen dat er gezondheidsrisico's kunnen zijn voor werknemers die werkzaamheden in tunnels moeten uitvoeren.

Hoofdstuk 1 beschrijft de opzet en uitvoering van het project met de deelrapporten die zijn opgesteld. In hoofdstuk 2 wordt vervolgens een overzicht gegeven van alle werkzaamheden die kunnen plaatsvinden in spoortunnels. In hoofdstuk 3 worden de verschillende tunnelkarakteristieken geëvalueerd op hun mogelijke invloed op stofconcentraties in de lucht. Hoofdstuk 4 behandelt de risico's van blootstelling aan stof in spoortunnels aan de hand van de beschikbare informatie. Afgesloten wordt in hoofdstuk 5 met conclusies en adviezen.

2. Werkzaamheden in tunnels

Om inzicht te krijgen in de potentiële blootstelling aan stof in spoortunnels bij reguliere werkzaamheden (inspectie, oplossen van storingen, preventief en correctief onderhoud) is gestart met een inventarisatie van die werkzaamheden. Om de mogelijke verschillen vooraf vast te stellen zijn deze werkzaamheden aan de hand van diverse criteria beoordeeld en vervolgens gecategoriseerd.

2.1 Aanpak

De reguliere werkzaamheden die in tunnels kunnen plaatsvinden zijn op de volgende wijze geïnventariseerd:

- aannemers hebben in 2020 voorafgaande aan storingen en onderhoudswerkzaamheden in het traject Zee-Zevenaar de diverse werkzaamheden geïnventariseerd ;
- van de werkzaamheden zijn samen met de deskundigen van de aannemers de relatieve blootstellingsrisico's bepaald in de vorm van een gestandaardiseerde Taak-Risico-Analyse (TRA);
- in een tweetal groepsessies zijn de resultaten van deze TRA's besproken en afgestemd met deskundigen van de aannemers;
- deze TRA's zijn vervolgens door PreventPartner in een overzicht geplaatst. In bijlage 2 is het overzicht opgenomen;
- dit overzicht is voorgelegd aan de werkgroep KAM van de Stichting railAlert voor volledigheid van deze werkzaamheden voor alle spoortunnels. De aanvullingen zijn opgenomen in het overzicht;
- vanuit het oogpunt van potentiële blootstelling aan stof (stofbelasting) zijn de werkzaamheden gegroepeerd door PreventPartner (zie ook § 2.2);
- vervolgens is opnieuw een inschatting gemaakt van de relatieve orde van grootte van blootstelling (zie ook § 2.4);
- de bevindingen zijn besproken in de expertgroep van ProRail en op grond van dit overleg, al dan niet na bespreking in de stuurgroep, waar nodig bijgesteld.

Dit overzicht is vervolgens gebruikt voor het identificeren van werkzaamheden met potentieel hoge blootstellingen (de zogenaamde worst-case situaties). Op grond van deze selectie zijn pilotprojecten gedefinieerd voor het uitvoeren van metingen in tunnels.

2.2 Werkzaamheden

Op hoofdlijnen zijn de volgende activiteiten te onderscheiden die worden uitgevoerd in tunnels:

1. lopen op ballastbed of schouwpad;
2. werkzaamheden vanuit voertuigen op de spoorbaan;
3. passage op spoorbaan van werkvoertuig (dus geen passage van regulier treinverkeer);
4. openen van kasten en/of deuren;
5. openen en sluiten van kabelgoten) en/of onderhoud instrumentatie, waarvoor looptegels moeten worden gelicht;
6. werken in of aan het ballastbed;
7. werkzaamheden aan bovenleidingen (zie foto);
8. schoonmaken van deuren en/of onderdelen en in tunnels;
9. wisselen van stoffilters.

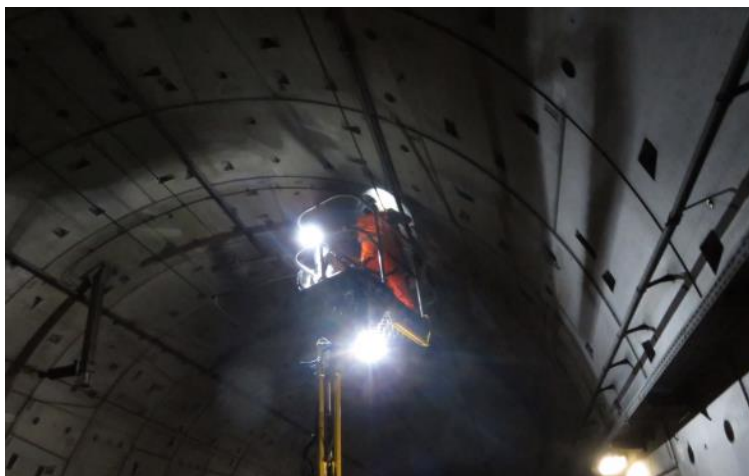
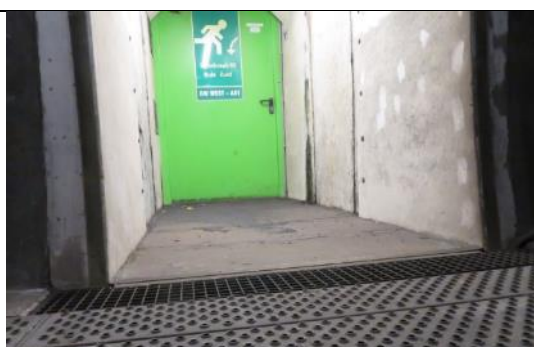


Foto: Werkzaamheden aan de bovenleiding

2.3 Werkplekbezoek

Om een indruk te krijgen van verontreinigingen in spoortunnels is een werkplekbezoek gebracht aan de Botlektunnel. In de gesprekken over de TRA's met de deskundigen van de aannemers en de expertgroep van ProRail kwam de Botlektunnel (met name de zuidbuis) als de meest verontreinigde tunnel naar voren. De zuidbuis is de eerste tunnelbuis na het vertrek van de haventerreinen waarbij nog significante hoeveelheden lading vanuit de wagons kan afvallen. Verderop in het traject wordt dat steeds minder. De treinen die vanaf Duitsland komen en gebruik maken van de noordelijke buizen zijn leeg of hebben onderweg de 'losse' lading al verloren.

Het belangrijkste doel van dit werkplekbezoek is om een beter inzicht te krijgen in de context van de werkzaamheden, meer visuele informatie te verzamelen over specifieke karakteristieken van de tunnel en van de aard en omvang van de mogelijke verontreinigingen in een spoortunnel. De bevindingen zijn besproken binnen de groep arbeidshygiënist van PreventPartner en meegenomen in de beoordeling van het blootstellingsrisico. Onderstaande foto's geven een impressie.



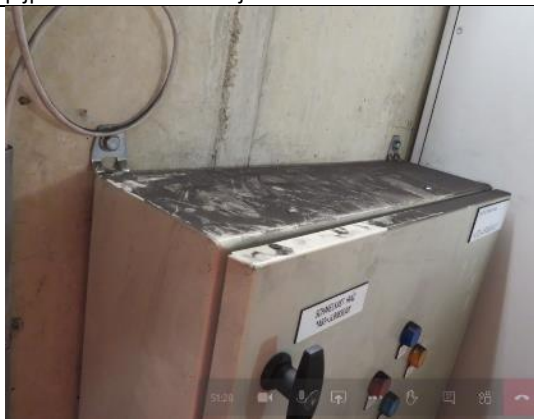
Toegang: tot de tussenruimte



Noordbuis. Op de buizen onder het schouwpad is stof te zien die relatief vast aan de buizen is gehecht. Er zijn geen werkzaamheden waarbij het stof op de pijp moet worden verwijderd.



In tussenruimte. Deze ruimte staat op overdruk ten opzichte van de tunnelbuizen. Het stof hecht zich aan de telefoon en controlekast en zit dus relatief vast op deze oppervlakken.



Ook op deze kast zit stof. Het stof is gehecht aan het oppervlak. Je moet het aanraken om het stof te verwijderen. Het komt niet gemakkelijk van het oppervlak af.



Binnenzijde van de kast waar filters in zitten. In de kast is visueel weinig stof waarneembaar.



Noordbuis. Gruis, dat op de grond blijft liggen in 'dode hoeken'. Het is grof stof en dwarrelt niet gemakkelijk op.



Noordbuis. Bij storingen of inspecties aan elektrische en andere systemen, moet onderhoudspersoneel hier geregeld bij zijn. Er is een metalen traanplaat geplaatst voor eenvoudiger toegang van de leidingen. Ook voor

 Noordbuis. Dit zijn pompen voor bluswater. Er nauwelijks stof waarneembaar bij deze pompen.	dit stof geldt dat dit stof “plakkerig” is en relatief vast op de oppervlakken van de leidingen zit.  Zuidbuis. Dit is een ruimte die gebruikt is bij de bouw van de tunnel. Toegang via een deur vanuit de zuidbuis. Boven deze ruimte diverse serviceruimten (toegang afgesloten door middel van een deur). Ruimte lijkt visueel minder vervuild dan tussenruimten.
	 Zuidbuis Het gruis in de zuidbuis is donkerder dan in de noordbuis. Het gruis dat wordt gezien is grof. Ook de hoeveelheid gruis in de zuidbuis groter dan in de noordbuis. Te verklaren door de grotere hoeveelheden afgevalen lading van transporten.

	
Tegen de wanden van beide buizen zit een zichtbare sluier van stof, die gehecht zit aan het oppervlak en manueel lastig te verwijderen is.	Zuidbuis. Bij storingen in elektrische systeem, moeten ze vaker in het leidingentracé zijn. Deze tracé's zijn visueel ernstiger vervuild dan in de noordbuis.
	
Vloer noordbuis. Weinig tot geen stof op looppad en traanplaat.	

Veel van het stof dat aan oppervlakken is gehecht; blijkt vrij vast op deze oppervlakken te zitten. In de tunnel zelf ligt relatief veel gruis in 'dode' hoeken op de grond. Dit stof heeft, visueel beoordeeld, een relatief grote deeltjesgrootte en het lijkt niet gemakkelijk te kunnen opwervelen in de lucht.

2.4 Indeling werkzaamheden

Om vast te stellen bij welke groepen werkzaamheden de meeste stof kan vrijkomen is door de arbeidshygiënist van PreventPartner in overleg met de expertgroep van ProRail een indeling gemaakt op basis van een drietal criteria:

1. blootstelling aan stof in de ademzone; Nee(-), Ja (+++);
2. kans opwervelen; Nee(-), niet waarschijnlijk (+), mogelijk (++), waarschijnlijk (+++), zeker (++++);
3. oppervlak dat wordt beroerd; beperkt (+), klein (++), midden (+++) en groot (++++).

De beoordeling of stof wel of niet gemakkelijk opwervelt, grof of fijn is en/of al dan niet aan oppervlakken is gehecht is, is gedaan op basis van de bevindingen van het werkplekonderzoek en de ervaringen van de deskundigen in de expertgroep.

In onderstaande tabel 1 is een overzicht gegeven van deze beoordeling voor de 9 groepen van activiteiten (zie § 2.2). Deze tabel geeft een ranking van de mogelijke aard en mate van blootstelling aan stof in spoortunnels. In bijlage 2 is de beschrijving opgenomen van alle geïnventariseerde werkzaamheden zoals die zijn ingedeeld naar de 9 verschillende hoofdgroepen.

Tabel 1: overzicht van werkzaamheden in tunnels (in de 9 hoofdgroepen) met daarbij een inschatting over de hoeveelheid stof dat bij deze werkzaamheden kan vrijkomen in de ademzone (mate van blootstelling).

#	Omschrijving activiteit	De activiteit zelf zorgt voor blootstelling aan stof in de ademzone	Kans dat stof opwerfelt als gevolg van de werkzaamheden	Oppervlak	Blootstelling stof (uitgedrukt in aantal plusjes)
1	Lopen over ballastbed of schouwpad (Opwervelen van (fijn)stof van ballastbed of schouwpad)	Nee -	Mogelijk ++	Midden ++	4
2	Werkzaamheden vanuit voertuigen op de spoorbaan (Opwervelen (fijn)stof uit ballastbed en van schouwpad).	Nee -	Mogelijk ++	Groot ++++	6
3	Passage op spoorbaan van voertuig	Nee -	Waarschijnlijk +++	Midden +++	6
4	Openen van kasten en /of deuren	Ja, kan +++	Waarschijnlijk +++	Beperkt +	7
5	Open en sluiten van kabelgoten)/onderhoud instrumentatie, waarvoor looptegels moeten worden opgelicht	Ja, kan +++	Zeker ++++	Midden +++	10
6	Werken in/aan ballastbed	Ja, kan +++	Zeker ++++	Groot ++++	11
7	Werkzaamheden aan bovenleidingen	Ja, kan +++	Mogelijk ++	Midden +++	8
8	Schoonmaken van deuren/onderdelen en dergelijke in tunnels	Ja kan +++	Mogelijk ++	Beperkt +	6
9	Wisselen van stoffilters (opwervelen en vallen van (fijn) stof van omkasting. Met name het verwijderen stoffilter en stof van de draaiende delen en uit de omkasting.)	Ja kan +++	Zeker ++++	Klein ++	9

Op de volgende pagina is de top 4 van hoogste kans op stofvorming samengevat.

Samengevat kan worden gesteld dat de meeste kans op stofvorming wordt verwacht bij:

- Ballastroerende werkzaamheden
- Openen en sluiten van kabelgoten
- Wisselen van stoffilters
- Werkzaamheden aan bovenleiding

3. Karakteristieken spoortunnels in Nederland

In Nederland zijn 22 spoortunnels en -overkappingen die langer zijn dan 250 meter. Een compleet overzicht van de tunnels is opgenomen in bijlage 3.

Van al deze tunnels en overkappingen zijn de volgende parameters in beeld gebracht:

- a) lengte van de tunnel;
- b) soort bouw (boortunnel, overkapping, cut and cover, wand-en-dakmethode, zinktunnel);
- c) aanwezigheid helling;
- d) aanwezigheid ventilatie;
- e) wijze waarop spoorstaven zijn bevestigd (vast op betondek of ballast);
- f) reizigers en/of goederenvervoer;
- g) aanwezigheid van een ondergronds station in de tunnel.

Vanuit oogpunt van potentiële stofblootstelling in tunnels kunnen een aantal van deze parameters van invloed zijn. Hieronder wordt dat per aspect kort aangegeven.

Ad a) Lengte van tunnel (mogelijk van belang)

De lengte van de tunnel zou van belang kunnen zijn indien de natuurlijke ventilatie in een korte tunnel groter is dan bij langere tunnel. Door het passeren van treinen ontstaan stuw(over)druk en onderdruk die luchtbewegingen veroorzaken waardoor er trek in de tunnel ontstaat. We hebben echter geen nadere informatie kunnen vinden in hoeverre de lengte van de tunnel van invloed kan zijn op de stofblootstelling. Dat betekent dat we de mogelijke invloed van tunnellen op dit moment niet kunnen uitsluiten.

Indien er een verschil zou zijn, verwachten we bij langere tunnels een hogere stofbelasting, omdat de invloed van natuurlijke ventilatie vooral beperkt zal blijven tot alleen de uiteinden van een tunnel.

Ad b) soort tunnelbouw (niet van belang)

Er is geen enkel argument door ons gevonden waarom de soort tunnelbouw van invloed zou kunnen zijn op stofblootstelling.

Ad c) helling (mogelijk van belang)

Wanneer er hellingen zijn in de spoortunnel zou meer stof kunnen ontstaan door slijtage bijvoorbeeld bij afremmen of versnellen [C].

De meeste tunnels hebben hellingen. Juist in tunnels met hellingen zijn metingen uitgevoerd tijdens pilotprojecten, wat betekent dat de beschikbare meetgegevens op dit specifieke aspect als worst-case kunnen worden beschouwd.

Ad d) Ventilatie (niet van groot belang)

De ventilatie is bedoeld voor gebruik tijdens een calamiteit en staat in principe uit op momenten dat er in de tunnel werkzaamheden worden verricht. Er is een automatisch testsysteem waarbij de functionaliteit van de ventilatie circa 1 keer per maand wordt getest. De test duurt een aantal minuten en gaat dan gepaard met een grote luchtstroom in de tunnel. Bij calamiteiten worden de ventilatoren automatisch in werking gesteld. Ventilatie is met name bedoeld voor het verdrijven van rook tijdens een calamiteit. De beschikbare metingen zijn uitgevoerd met ventilatie in de uit-stand en zijn dus representatief voor de reguliere situatie. Hierdoor is de additionele invloed van ventilatie niet relevant.

Ad e) Wijze waarop spoorstaven zijn bevestigd (van belang);

Verwacht wordt dat vanuit een ballastbed meer stof kan worden afgegeven dan vanaf een betondek. Dit komt doordat:

- in ballast zelf al stof aanwezig is vanaf het moment van aanleggen van het bed;

- ballastmateriaal kapot kan worden gereden.

Wanneer spoorstaven zijn bevestigd op het betondek wordt niet verwacht dat er stof vrijkomt omdat geen stof aanwezig is door het aanleggen en het dek niet kapot wordt gereden.

Ad f) Reizigers versus goederenvervoer (mogelijk van belang) en frequentie van vervoer

Bij goederenvervoer wordt meer stofvorming verwacht om de volgende redenen:

- afgevalen lading als er met een open lading wordt gereden;
- door hogere slijtage van materieel en spoorelementen:
 - o bij goederenvervoer is meer slijtage op de spoorstaaf door het hogere gewicht van de lading (gewichtsklasse is bepalend);
 - o goederentreinen moeten harder remmen dan passagierstreinen, hebben daarvoor meer assen en hierdoor ook meer slijtage (met name van belang bij hellingen).
- het gebruik van diesellocomotieven.

Bovenstaande wordt ondersteund door de bevindingen van het bezoek aan de Botlektunnel. De zuidbuis is, zeker in het eerste deel, meer vervuild door afgevalen lading dan de noordbuis. De reden hiervoor is dat door de zuidbuis treinen rijden die recent uit de havens van Rotterdam zijn vertrokken. (De aanname is dat vooral aan het begin van het traject de lading zal afvallen). Door de noordbuis rijden vooral de transporten vanuit Duitsland waarbij de eventuele losse lading al eerder tijdens het transport zal zijn afgevalen.

Passagierstreinen rijden sneller waardoor er meer slijtage zou kunnen optreden van de stroomafnemers. Per saldo verwachten we echter dat er bij goederenvervoer meer stofvorming kan optreden.

Hoe vaker passage van een trein plaats vindt hoe groter de specifieke slijtage zal optreden en hoe meer stof zal worden gevormd.

Ad g) ondergronds station (mogelijk van belang)¹

Omdat treinen op ondergrondse stations kunnen stoppen en optrekken verwacht je dat daar meer slijtage optreedt, met name van remsystemen (vooral relevant bij reizigersvervoer in tunnels).

Samengevat hebben de volgende factoren mogelijk invloed op de stofvorming in tunnels en zal meer stofvorming te verwachten zijn bij:

- goederentransport door tunnel;
- aanwezigheid van ballast;
- meer rembewegingen door aanwezigheid hellingen of stations;
- grotere lengte tunnels.

Dat betekent dat, gezien de tunnelkarakteristieken, de grootste stofblootstelling te verwachten is in de volgende tunnels (allen zowel helling, goederenvervoer, ballast als lengte > 1,5 km)² :

- Sophia (4,4 km);
- Botlek, met name zuidbuis (1,8 km);

¹ Er zijn metingen gedaan op het station van de Schipholtunnel. De Schipholtunnel is een tunnel waarbij de rails direct op het betondek is gemonteerd. Door de tunnel rijden alleen treinen voor persoonsvervoer. De onderzoeken naar de samenstelling van het stof laten zien dat slijtage van materieel en spoor en trein optreedt. De kwantitatieve resultaten van de persoonsgebonden metingen (schoonmakers perron en toezichhouders) zijn niet representatief zijn voor blootstelling tijdens werkzaamheden in goederentunnels en daarom uiteindelijk niet meegenomen in de beoordeling van de blootstelling bij onderhoudswerkzaamheden.

² Deze tunnellengete is niet verder onderbouwd als onderscheidend karakter anders dan dat zij is gebruikt voor het vaststellen van worstcase situaties.

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">- Pannerdensch kanaal tunnel (1,6 km)- Willemsspoortunnel (2,6 km + ondergrondse stations) |
|---|

4. Risico's

In de volgende paragrafen worden de diverse aspecten van de risico's van blootstelling aan stof aanwezig in spoortunnels behandeld.

Bij toetsing van meetresultaten aan de grenswaarde moet rekening worden gehouden met de variabiliteit in concentratie. Als deze zeer variabel is en/of zeer dicht tegen de grenswaarde aan zit, dan dient men er rekening mee houden dat de kans heel groot is dat de grenswaarde bij een volgende meting zal worden overschreden. De toetsing van de meetresultaten is uitgevoerd conform de norm EN689 (2018) [15]. Deze geeft aan op welke wijze statistisch aan een grenswaarde moet worden getoetst en stelt de eis dat met 70% betrouwbaarheid moet kunnen worden aangetoond dat minimaal 95% van de blootstellingen onder de grenswaarde blijven. Daarbij zijn onder andere eisen gesteld aan het aantal metingen die beschikbaar moet zijn.

4.1 Gevaren

De gevaren door blootstelling aan stof in spoortunnels zijn gebaseerd op de aard van de bronnen van stofvorming, de samenstelling van deze bronnen, de resultaten van metingen in tunnels en informatie over verontreinigingen op treinstellen [C]. Er zijn drie groepen stoffen geïdentificeerd die mogelijk in zodanige hoeveelheden kunnen voorkomen dat ze relevant kunnen zijn in het kader van gezondheid:

- Metalen (met name ijzer en koper en in mindere mate aluminium, barium, chroom, fosfor (geen metaal), magnesium, mangaan, nikkel en zink);
- Kwarts;
- Koolstof.

Naast deze componenten zijn uit het oogpunt van gezondheidseffecten stofdeeltjes zelf van belang. Hierbij worden 2 stoffracties onderscheiden; namelijk stofdeeltjes die kunnen worden ingeademd (inhaleerbaar stof) en het fijne stof dat diep in de longen (de longblaasjes) terecht kan komen (respirabel stof).

De grenswaarden voor beroepsmatige blootstelling waaraan wordt getoetst zijn zogenaamde gezondheidkundige grenswaarden. Dit betekent dat als de blootstelling aan stoffen onder die waarden blijft (40 jaar lang, 48 weken per jaar, 5 dagen per week en 8 uur per dag) er geen gezondheidseffecten zijn aangetoond. Over de verantwoording van de gekozen grenswaarden is apart gerapporteerd [D].

4.2 Concentraties in de lucht bij werkzaamheden

In het vervolg worden zowel de resultaten van onderzoeken uit het verleden gebruikt als ook de meest recente onderzoeken in (pilot)-projecten. Voor die laatste categorie zijn meetprotocollen opgesteld [E,F]. Als direct uitleesbare meters werden toegepast (bij real-time metingen met data logging) zijn de resultaten voor PM_{2.5} gebruikt als indicator voor respirabel stof en die van PM₁₀ voor inhaleerbaar stof (zie ook bijlage 5 voor de toelichting).

De persoonsgebonden metingen zijn vooral uitgevoerd in tunnels waarin op basis van de tunnelkarakteristieken het meeste stof kan worden verwacht (Botlektunnel, Sofiatunnel en Willemsspoortunnel). In deze tunnels is ballast aanwezig en is er sprake van vervuiling door slijtage en

afgevalen lading. Je meet daardoor feitelijk aan de bovenkant van de blootstellingsverdeling en de kans dat de blootstelling daardoor wordt onderschat is heel klein. Hierbij dient ook te worden opgemerkt dat de uitslagen een overschatting kunnen zijn voor blootstelling in tunnels waar de karakteristieken zorgen voor minder stof. Verder kan er sprake zijn van overschatting aan blootstelling aan stof in tunnels, omdat tijdens de metingen medewerkers niet altijd alleen aan het stof in de tunnels zijn blootgesteld, maar ook aan het stof dat wordt geproduceerd door de handelingen zelf (bijvoorbeeld blootstelling aan dieselmotoremissie, lasrook of slijpstof).

Daarnaast zijn uitgevoerd in tunnels waarbij wordt verwacht dat de blootstelling aan stof laag is door de tunnelkarakteristieken (Delft Spoortunnel en Schiphol tunnel). Deze tunnels kenmerken zich door personenvervoer en dat de rails direct op het betondek is gemonteerd (Schiphol tunnel).

Ten slotte is in een drietal tunnels (Velserspoortunnel, Hemtunnel en Nijverdaltunnel) tijdens inspectie- en onderhoudswerkzaamheden met behulp van direct uitleesbare apparatuur de concentratie inhaleerbaar en respirabel stof gemeten. Ook de resultaten van die metingen worden behandeld.

4.2.1 Inhaleerbaar en respirabel stof

In onderstaande tabel 2 zijn de meetresultaten samengevat van 3 stationaire en 21 persoonsgebonden metingen naar inhaleerbaar stof (9 werkzaamheden) én 18 persoonsgebonden metingen naar respirabel stof in de spoortunnels. Het betreft hier metingen die vanaf 2014 zijn uitgevoerd.

Tabel 2: metingen naar inhaleerbaar en respirabel stof

Tunnel	Stationaire metingen (aantallen metingen)	Persoonsgebonden mg/m ³ (aantallen metingen)		Jaartal rapportage	Werkzaamheden (verwijzing naar literatuur)
	Inhaleerbaar stof (grenswaarde 4 mg/m ³)	inhaleerbaar stof (grenswaarde ³ 4 mg/m ³)	respirabel stof (grenswaarde 1,25 mg/m ³)		
Botlektunnel		1,19 (1)	0,19 - 0,26 (2)	2014	Vervangen filters, verhelpen storing kleppenkast en vervangen lampen [7]
		0,13 - 0,16 (4)	<0,16- 0,16 (4)	2020	Inspectie bovenleidingen en isolatoren [4].
		0,13 (1)	0,16	2021	Pilot reinigen ballastbed zuidbuis [10]
Sophiatunnel	0,32 (1)			2020	Stationaire meting bij pilot reinigen ballastbed [1]
		1,25 - 2,63 (2)	0,11 - 0,15 (2)	2014	Los nemen kabels, openen kabelgoten en plaatsen meters [7]
		<0,05 - 0,31 (4)	<0,07 (2)	2020	Controleren en reinigen doorslagveiligheids [3]
		0,28 (1)	0,16 (1)	2020	Condensatorbanken [3])
		0,2 (1)	0,07 (1)	2020	Werkzaamheden leidingentracé [3]
Willems-spoortunnel		0,48 - 1,32 (4)	0,09 - 0,31 (6)	2020	Spoorstaven vervangen [2]
		0,35 - 0, 87 (2)		2020	Ballast verdichtende werkzaamheden [2]

³ Voor de onderbouwing van de in dit rapport gebruikte grenswaarden wordt verwezen naar het rapport dat hiervoor is opgesteld ten behoeve van opname in de arbocatologus van Stichting railAlert [D].

Spoortunnel Delft	<0,10 (2)	<0,10 (2)	<0,13 (2)	2020	Inspecteren bovenleidingen en aardlekschakelaars [5]
Schiphol-tunnel			0,17 (9)	2020	Schoonmaken en toezicht perron [6]

In tabel 2 is te zien dat de uitkomsten van alle uitgevoerde metingen onder de grenswaarde voor beroepsmatig blootstelling liggen. Een groot aantal metingen ligt ook onder de detectiegrens (zie voor het overzicht bijlage 4 met de samenvatting van de resultaten van statistische analyses).

Tabel 3: toetsing inhaleerbaar en respirabel stof aan grenswaarde

Gemeten component	Aantal metingen	Aantal metingen boven detectiegrens	UTL _{95%,70%} ⁴ mg/m ³	% grenswaarde UTL _{95%,70%}
Inhaleerbaar stof	21	16	2,21	65
Respirabel stof	18	11	0,38	10

Statistische toetsing

In eerste instantie zijn in totaal 21 metingen geanalyseerd naar blootstelling aan inhaleerbaar stof bij 4 tunnels en 12 verschillende werkzaamheden. Dat is een voldoende groot aantal om statistisch te mogen toetsen conform EN689 (2018). Statistische analyse laat zien dat de blootstelling met voldoende betrouwbaarheid onder de grenswaarde van 4 mg/m³ blijft. De gemiddelde blootstelling (GM⁵) aan **inhaleerbaar** stof in spoortunnels bij de diverse werkzaamheden is 0,34 mg/m³ en de maximale blootstelling wordt geschat op 2,61 mg/m³ (65% van de grenswaarde). Van deze 21 resultaten komen er 18 uit de pilotprojecten die in 2020 zijn uitgevoerd. De gemiddelde concentratie in deze metingen 0,24 mg/m³ en is de maximale blootstelling geschat op 1,26 mg/m³ (32% van de grenswaarde) inhaleerbaar stof.

Verder zijn er over de hele periode 18 metingen uitgevoerd naar **respirabel** stof bij 4 tunnels en 8 verschillende werkzaamheden, eveneens een voldoende aantal metingen. Statistische analyse laat zien dat de blootstelling met voldoende betrouwbaarheid onder de grenswaarde van 1,25 mg/m³ blijft⁶. De gemiddelde blootstelling in een spoortunnels bij de diverse werkzaamheden aan respirabel stof is 0,15 mg/m³ en de maximale blootstelling wordt geschat op 0,38 mg/m³. Van deze 18 resultaten komen er 16 uit de pilotprojecten die in 2020 zijn uitgevoerd. De gemiddelde concentratie in deze metingen 0,14 mg/m³ en is de maximale blootstelling geschat op 0,37 mg/m³ (9% van de grenswaarde) respirabel stof.

⁴ De UTL_{95%,70%} is de waarde die statistisch met 70% betrouwbaarheid wordt bepaald dat 95% van de blootstellingen onder deze waarde blijven.

⁵ Tenzij anders vermeld wordt met de gemiddelde blootstelling het berekende geometrische gemiddelde (GM) bedoeld gebaseerd op de lognormale verdeling van de meetresultaten (inclusief waarden onder de detectiegrens conform EN 689 (2018)).

⁶ In deze analyses zijn niet de meetwaarden uit het onderzoek van het station Schiphol meegenomen aangezien de werkzaamheden die daar zijn onderzocht (schoonmaken perrons en toezicht houden/crowd control) niet representatief zijn voor het werken in spoortunnels. De 9 monsters die op het station Schiphol zijn genomen blijven ruim onder de grenswaarde.

Worst-case in pilotprojecten

Om in te kunnen schatten wat er op dit moment maximaal mogelijk aan blootstelling kan plaats vinden is als eerste gekeken naar de metingen die zijn uitgevoerd in de Willemsspoortunnel⁷. Op basis van de analyse van factoren in tunnels en de analyse van werkzaamheden is bepaald dat:

- de Willemsspoortunnel behoort tot de tunnels waar het meeste stof wordt verwacht gezien de tunnelkarakteristieken;
- de uitvoerde werkzaamheden behoren tot de werkzaamheden waar het meeste stof te verwachten valt. (Spoorstaven vervangen en ballast verdichtende werkzaamheden worden als “ballastroerende werkzaamheden”).
- Daarnaast zijn deze werkzaamheden gedurende langere tijd uitgevoerd namelijk meerdere dagen en zijn de metingen full shift [2].
- De werkzaamheden zijn aan twee sporen uitgevoerd.

Vergelijking van de resultaten uit de verschillende pilotprojecten laat zien dat de blootstellingen aan inhaleerbaar stof (afbeelding 1) en respirabel stof (afbeelding 2) bij de werkzaamheden in de Willemsspoortunnel (Paarse box rechts) hoger zijn dan die in de andere tunnels. Zowel de gemiddelde blootstelling als de maximaal ingeschatte blootstelling aan zowel inhaleerbaar als respirabel stof is bij de ballastroerende werkzaamheden in de Willemsspoortunnel hoger dan in de rest van de metingen in de pilotprojecten. Op basis hiervan kan worden gesteld dat deze metingen geduid kunnen worden als worst-case.

De 6 gemeten waarden tonen aan dat ook onder deze ballastroerende werkzaamheden de blootstelling ruim onder de grenswaarden blijven. De gemiddelde concentratie in deze metingen is 0,625 mg/m³ en is de maximale blootstelling geschat op 2,14 mg/m³ (54% van de grenswaarde) inhaleerbaar stof. De gemiddelde concentratie in deze metingen is 0,20 mg/m³ en de maximale blootstelling wordt geschat op 0,58 mg/m³ (15% van de grenswaarde) respirabel stof.



⁷ De Willemsspoortunnel is 1 tunnelbuis waarbij de sporen gescheiden door betonnen kolommen met daartussen openingen.

⁸ De grafiek in deze afbeelding is een zogenaamde lognormale boxplot. In deze boxplot is de op de horizontale as de locatie aangegeven waar de metingen zijn verricht en op de verticale as de logaritme van de gemeten concentraties. Een concentratie < 1 mg/m³ wordt op een logaritmische schaal weergegeven als een negatief getal (zie ook bijlage 3)

Direct uitleesbare metingen

De conclusie dat de stofblootstelling in spoortunnels ruim onder de grenswaarden blijven wordt ondersteund door real-time metingen die zijn uitgevoerd bij Nederlandse spoortunnels;

- Metingen die naast de persoonsgebonden metingen zijn gedaan.
- Oriënterende metingen die zijn uitgevoerd in willekeurig andere spoortunnels (zie ook bijlage 5).

Tabel 4 laat de meetresultaten zien van real-time metingen die in Nederlandse goederentunnels zijn uitgevoerd. Gerealiseerd moet worden dat bij real-time metingen meestal iets andere stoffracties worden gemeten dan bij persoonsgebonden metingen. De PM_{2,5}-fractie komt het best overeen met respirabel stof (PM_{2,5} is fijner dan respirabel stof). De PM₁₀ fractie komt enigszins met inhaleerbaar stof (PM₁₀ is fijner dan inhaleerbaar stof). De tabel geeft de resultaten weer van de oriënterende metingen uit bijlage 5 samen met de resultaten van de aanvullende metingen.

De meetresultaten van de direct uitleesbare apparatuur laat zien dat de gemeten piekwaarden overeenkomen met de waarden gevonden in de persoonsgebonden waarden. Bij geen van de onderzochte tunnels werden tijdens de werkzaamheden de grenswaarden voor inhaleerbaar of respirabel stof overschreden.

Opvallend is de hoogst gemeten piekwaarde in de Hemspoortunnel (geen ballastbed). De Hemspoortunnel ligt in het havengebied van Amsterdam. In deze tunnel werd tijdens werkzaamheden gebruik gemaakt van perslucht voor het reinigen van deuren.

Tabel 4: overzicht resultaten direct uitleesbare, real-time metingen

	direct uitleesbaar activiteit gericht ⁹ max ¹⁰ mg/m ³		direct uitleesbaar stationair max mg/m ³		Werkzaamheden die zijn uitgevoerd
	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	
Botlektunnel	0,168	0,22			Inspectie bovenleidingen en isolatoren [4].
Sophiatunnel	0,157	0,176	0,005	0,007	inspectie condensatorbanken controleren en reinigen doorslagveiligheids [3].
Willems-spoortunnel	0,274	0,954	0,114	0,134	Spoorstaven vervangen ballast verdichtende werkzaamheden [2].
Hems-spoortunnel	0,099	1,39	0,03	0,18	Inspectie werkzaamheden en reinigen van deuren [12], zie ook grafiek bijlage 5.
Velsertunnel	0,03	0,22	0,04	0,07	Inspectie werkzaamheden [11], zie ook grafiek bijlage 5.
Tunnel Nijverdal	0,03	0,07	0,02	0,04	Inspectie werkzaamheden [13], zie ook grafiek bijlage 5.
Schiphol-tunnel			0,14 (tgg 8 uur)	0,42 (tgg 8 uur)	Schoonmaken en toezicht perron [14].

⁹ Activiteit gericht betekent in deze context dat de metingen zijn uitgevoerd in de buurt van degene die de activiteiten uitvoerde.

¹⁰ Max wil zeggen de hoogste gemeten waarde gedurende de volledige meetperiode.

Treinbewegingen

Werkzaamheden in tunnels worden uitgevoerd nadat treinverkeer is stilgelegd. De vraag die is gesteld door aannemers, is of de treinbewegingen voorafgaand aan de stillegging voor relevante op werveling van stof kan zorgen.

Uiteraard zal elke treinbeweging zorgen voor enige luchtbeweging en opwervelen van stof; maar op grond van de visuele waarnemingen in combinatie met de indicatieve metingen tijdens treinpassages [9] wordt niet verwacht dat hier substantiële hoeveelheden inhaleerbaar of respirabel stof bij vrijkomen.

In bijlage 6 zijn in grafieken het patroon van concentraties respirabel stof opgenomen die eind 2019 zijn gemeten in de Botlektunnel en Sofiatunnel [9]. De gemiddelde concentratie respirabel stof in de lucht over de gehele periode ligt voor beide tunnelbuizen onder de $0,1 \text{ mg/m}^3$. De maximaal gemeten piekconcentraties overschrijden gedurende de meetperiode in de Botlektunnel twee keer de grenswaarde voor 8 uren blootstelling ($1,25 \text{ mg/m}^3$) en geen enkele keer de grenswaarde voor 15 minuten blootstelling ($2,5 \text{ mg/m}^3$). In de Sofiatunnel werd geen enkele keer de grenswaarden overschreden. In beide tunnels zijn over die periode tientallen treinen gepasseerd.

Na een treinpassage is de concentratie na een kwartier tot half uur weer op basisniveau. Er wordt derhalve geen relevante blootstelling verwacht door het opwervelen van stof, voorafgaand aan de stillegging van het treinverkeer.

Vergelijking met literatuur

De resultaten uit al deze metingen zijn in lijn met de informatie uit (blootstellingsonderzoeken in de buitenlandse literatuur. In de onderzoeken in metro- en spoortunnels zijn blootstellingen gemeten van gemiddeld over een dag kleiner dan $0,1 \text{ mg/m}^3$. De concentraties variëren gedurende die tijdsduur sterk met pieken tot maxima van $0,48 \text{ mg/m}^3 \text{ PM}_{10}$ [16, 17, 18, 19, 20].

Metingen tijdens werkzaamheden in tunnels zijn in Noorwegen uitgevoerd bij het bouwen van tunnels [21, 22]. Deze tunnels worden door rotspartijen en bergmassieven aangelegd.

Bij het bouwen van tunnels werden in 2002 voor totaal stof bij 209 werknemers gemiddelde blootstellingen voor totaal stof van $3,5 \text{ mg/m}^3$ gemeten en voor respirabel stof $1,2 \text{ mg/m}^3$. De hoogste waarden werden gemeten bij functies die zelf stof produceerden zoals het spuiten van beton (shotcreting; $6,8 \text{ mg/m}^3$), operators van tunnelboormachines ($6,2 \text{ mg/m}^3$) en boren in graniet of beton ($6,1 \text{ mg/m}^3$). De laagst blootgestelden groepen waren elektromonteurs ($1,4 \text{ mg/m}^3$) en ondersteuning ($1,9 \text{ mg/m}^3$) [21]. In een onderzoek gepubliceerd in 2015 werden vergelijkbare waarden gevonden bij functies die veel stof produceren door hun specifieke activiteiten zoals boren (tot 7 mg/m^3). Andere functies lieten veel lagere blootstellingen zien. Deze werknemers hadden werktijden van 10-12 uur per shift inclusief 2 pauzes van 30 minuten [22].

Samenvattend zijn de gemiddelde achtergrondconcentraties in spoortunnels, als daar geen constructiewerkzaamheden worden uitgevoerd, lager dan $0,1 \text{ mg/m}^3$. En hoewel de werkzaamheden niet precies overeenkomen laten de metingen zien dat in een stoffige omgeving de blootstelling voor personeel onder de grenswaarden blijven als de werkzaamheden zelf geen extra stof produceren.

4.2.2 Componenten in het stof

De (persoonsgebonden) monsters die zijn genomen in de Willemsspoortunnel, Spoortunnel Delft, Botlektunnel en Sophiatunnel zijn geanalyseerd op diverse componenten. De onderbouwing van de componenten die zijn geanalyseerd is gegeven in een aparte rapportage [C]. Ook zijn er veegmonsters genomen in tunnels en eveneens geanalyseerd op de diverse componenten. Alle metingen zijn in 2020 uitgevoerd volgens het opgestelde meetprotocol door PreventPartner [E, F].

In het spreadsheet in bijlage 8 is een overzicht gegeven van alle gemeten waarden van de verschillende componenten die in het stof uit spoortunnels is gemeten. Voor de beschrijving van meetmethode en meetomstandigheden wordt verwezen naar de onderliggende rapportages [1, 3, 4, 5, 6].

Veegmonsters

Er zijn veegmonsters genomen in de Willemsspoor- (8 monsters), Botlek (7 monsters), Delft- (2) en Sophiatunnel (7 monsters) [1, 3, 4, 5, 6]. De monsters zijn genomen in dezelfde periode, waarin ook de persoonsgebonden luchtmetingen zijn uitgevoerd.

In tabel 5 is een overzicht gegeven van de componenten die zijn onderzocht en de range aan concentraties (in mg/kg droge stof) dat is gemeten. Zoals ook op basis van de literatuur werd verwacht, wordt er in de monsters vooral veel ijzer aangetroffen. Ook kan veel koper, aluminium zink en magnesium in het stof aanwezig zijn. Benzo(a)pyreen wordt in lage concentraties aangetroffen. In de Willemsspoortunnel werden in vergelijking met andere tunnels hogere waarden voor PAK's aangetroffen in een 2-tal meetdata.

Tabel 5: Concentraties van verschillende componenten aanwezig in veegmonsters in de Willemsspoor- Botlek- Delft en Sophiatunnel.

Component	Hoeveelheden (mg/kg ds)
IJzer	38.000 - 404.333
Koper	41- 10.395
Aluminium	4120- 23.600
Barium	48 - 7175
Chroom	105 - 462
Magnesium	69 – 27.133
Mangaan	872- 4.083
Nikkel	11 - 388
Zink	130 – 207.000
Fosfor	50- 6.470
Elementair zwavel	15 -17.855
Kwarts	150
Elementair koolstof	Niet geanalyseerd
Benzo(a)pyreen (behoort tot de groep PAK)	0,00013 -50
PAK	2,54 – 62.214

Persoonsgebonden metingen

In tabel 6 wordt een samenvatting gegeven van de resultaten van de componentenanalyses uit bijlage 8. Bij geen van de monsters wordt in de metingen een overschrijding van de grenswaarde gezien.

Tabel 6: Overzicht van gemeten componenten in stof in spoortunnels

Component	Grenswaarde mg/m ³ [D]	Range gemeten waarden mg/m ³ (aantal metingen) in inhaleerbaar stof	Range gemeten waarden mg/m ³ (aantal metingen) in respirabel stof
Inhaleerbaar stof	4	<0,16 – 1,32 (18)	
Respirabel stof	1,25	<0,16 - 0,31 (14)	
IJzer	3	0,003 – 0,15 (16)	0,004 - 0,031 (11)
Aluminium	1	< 0,003- 0,027 (16)	0,012 - 0,163 (10)
Barium	0,5	0,00004 - 0,0005 (16)	
Chroom	0,5	0,00006 - 0,00029 (16)	
Magnesium	4	< 0,004 - 0,022 (16)	
Zink	4	< 0,00007 - 0,046 (16)	
Mangaan	0,2 inhaleerbaar 0,05 respirabel	0,00005 - 0,0015 (16)	0,00006 - 0,0002 (13)
Koper	0,1 inhaleerbaar 0,01 respirabel	<0,0002 - 0,0027 (12)	0,00007 - 0,001 (11)
Nikkel	0,01 inhaleerbaar 0,005 respirabel	0,00007 - 0,00025 (16)	Onder detectiegrens (11)
Grafiet	2 inhaleerbaar en 0,3 respirabel	0,007 (1)	0,007 - 0,034 (6)
Benzo(a)pyreen	0,00055	0,0000034 - 0,0000045 (9)	
Som PAK (16)		0,00003 - 0,002(9)	
Kwarts	0,075 (respirabel)		<0,001 - 0,008 (12)
Fosfor ¹¹		Onder detectiegrens	
Zwavel ¹¹		<0,017 - 0,024 (12)	

In de Willemsspoortunnel werden in materiaalmonsters hogere waarden voor PAK's gevonden dan in andere onderzochte tunnels. PAK's is een verzameling van koolwaterstoffen waarvoor de meeste geen grenswaarde is vastgesteld. Benzo(a)pyreen wordt daarom gebruikt als maatgevend voor het gezondheidsrisico voor blootstelling aan Pak's. De waarden voor blootstelling aan benzo(a)pyreen bleef in alle gemeten monsters (dus ook in die van de Willemsspoortunnel) onder 1% van de grenswaarde [24].

In bijlage 4 is een statistische analyse gemaakt van de voor de gezondheid meest relevante componenten (op basis van hun gezondheidkundige grenswaarde). In tabel 7 wordt voor deze componenten de hoogst geschatte bovengrens gegeven met het percentage van de daarbij behorende grenswaarde (zie ook bijlage 6 voor het overzicht van de gebruikte grenswaarden). In bijlage 8 is iedere meting (uitgezonderd die voor de sommatie van de PAK's) getoetst aan de grenswaarde.

¹¹ Voor de componenten fosfor en zwavel is geen grenswaarde bepaald. Eerder is aangegeven dat hier verder naar gekeken zou worden als er hogere waarden zwavel en fosfor zou worden aangetoond. Dit is, op basis van deze metingen, niet het geval.

Tabel 7: Overzicht van maximaal geschatte blootstelling aan relevante componenten in stof in spoortunnels getoetst aan de grenswaarde.

Gemeten component	Aantal metingen	Aantal metingen boven detectiegrens	UTL _{95%,70%} ¹² mg/m ³	% grenswaarde UTL _{95%,70%}
Koper (inhaleerbaar)	16	14	0,0085	8,5
Koper (respirabel) ¹³	11	4	NB ¹⁴	NB ¹⁴
Nikkel (inhaleerbaar)	16	4	0,0006	6
Nikkel (respirabel) ¹⁵	11	0	NB ¹⁴	NB ¹⁴
Mangaan (inhaleerbaar)	16	14	0,0023	1,1
Mangaan (respirabel)	13	3	0,0128	25,6
Kwarts (respirabel)	12	5	0,0011	14,7
Benzo(a)pyreen (respirabel)	9	2	0,000007	1,3

Voor alle voor de gezondheid relevante componenten geldt dat het geschatte 95 percentiel van de blootstelling in spoortunnels ruim onder de grenswaarde blijft. De metingen laten zien dat de blootstelling voor de componenten met meer dan 95% zekerheid onder de grenswaarde blijft.

Bij respirabel koper en nikkel geldt dat het merendeel van de metingen onder de detectiegrens blijft. Het grote aantal metingen van respirabel koper en respirabel nikkel onder de detectiegrens maakt dat er in statistische zin niet goed met de getallen gerekend kan worden en kan de UTL_{95%,70%} niet worden bepaald (in de tabel vermeld als NB). Gezien het grote aantallen metingen onder de detectiegrens kan de blootstelling in principe ook op basis van fase 1 van EN-689 (§5.1.4) worden beoordeeld en kan de blootstelling als voldoende laag worden beschouwd. Dit wordt verder ondersteund door de lage concentraties van koper en nikkel die in het inhaleerbaar stof worden gevonden (8,5% en 6% van de grenswaarde voor respectievelijk koper en nikkel).

¹² De UTL_{95%,70%} is de waarde die statistisch met 70% betrouwbaarheid wordt bepaald dat 95% van de blootstellingen onder deze waarde blijven.

¹³ Het merendeel van de meetresultaten is onder de detectiegrens zodat toetsing volgens EN 689 niet mogelijk is.

¹⁴ NB staat voor Niet Bepaald, zie voetnoot 13 en 15.

¹⁵ Alle meetresultaten zijn onder de detectiegrens zodat toetsing volgens EN 689 niet mogelijk is.

5. Conclusies en discussie

5.1 Geen gezondheidsrisico's door stof aanwezig in spoortunnels

Dit onderzoek toont aan dat de blootstelling aan het in spoortunnels aanwezige stof in Nederland ver onder de grenswaarden blijven voor beroepsmatige blootstelling.

Dit blijkt uit de metingen die in het kader van dit onderzoek zijn uitgevoerd, waarbij de blootstelling aan stof en aan de relevante componenten in het stof steeds ruim onder de gezondheidkundig grenswaarden blijven.

De metingen zijn vooral uitgevoerd in de spoortunnels waarbij op basis van de tunnelkarakteristieken de meeste stofvorming wordt verwacht en gelijktijdig bij werkzaamheden waar de meeste stofvorming wordt verondersteld. De metingen zijn in alle gevallen uitgevoerd zonder geforceerde ventilatie. Met andere woorden: er is gemeten onder worst-case condities.

De conclusie wordt ondersteund door andere onderzoeken in de internationale literatuur. In deze onderzoeken zijn geen aanwijzingen gevonden dat stof dat vrijkomt in spoortunnels, of aanwezige componenten in dit stof, hoger zijn dan de grenswaarden.

Ook als gekeken wordt naar individuele component in stof, dan wordt voor geen enkele component een overschrijding van grenswaarden gevonden. Ook niet als de maximaal geschatte concentraties worden getoetst conform de EN 689 (2018).

Er zijn op grond van dit onderzoek geen aanwijzingen dat blootstelling door inhalatie aan aanwezig stof in spoortunnels gezondheidsrisico's zullen veroorzaken.

De rapporten over de pilotprojecten tonen wel aan dat gezondheidsschadelijke stof/stoffen in de lucht komen door werkzaamheden in tunnels zoals bijvoorbeeld lasdampen, dieseldampen of stof dat vrijkomt bij boren. Dit zijn generieke werkzaamheden die overal aan het spoor worden uitgevoerd en ook daar voor blootstelling kunnen zorgen. Overschrijding van gezondheidkundige grenswaarden kan daarbij optreden. Deze blootstellingen vallen echter buiten de kaders van het voorliggende onderzoek en de resultaten zijn daarom niet opgenomen.

5.2 Adviezen

Communicatie

Er lijkt een groot verschil te zijn tussen de geobjectiveerde risico's van stof in de spoortunnels in dit onderzoek en de gepercipieerde risico's door de (medewerkers van de) opdrachtnemers. Dit lijkt mede ingegeven door de gecommuniceerde hoge uitslagen in februari 2020 die waren gebaseerd op rekenfouten. Het is derhalve belangrijk om veel aandacht te schenken aan de communicatie van de uitkomsten van dit rapport aan de onderaannemers.

Wanneer uitvoerenden twijfels hebben over de risico's van stofvorming in (goederen)spoortunnels dan kan worden overwogen om een draagbare, direct uitleesbare stofmeter in te zetten. Hierdoor kunnen medewerkers zelf monitoren in hoeverre er sprake is van veel stofvorming. Meetresultaten kunnen worden vergeleken met de bevindingen uit dit onderzoek en de interventiewaarden die in de

protocollen zijn vermeld. Deze wijze van monitoren kan ook inzicht geven bij welke handelingen verhoogde concentraties stof in de lucht ontstaan en prioriteit zouden moeten hebben in het nemen van brongerichte maatregelen.

Ventilatie

Op grond van dit onderzoek is er geen noodzaak om gedurende de werkzaamheden in tunnels de ventilatie in de tunnels aan te zetten. De metingen tonen aan dat bij uitgeschakelde ventilatie de concentraties laag zijn ten opzichte van gezondheidkundige grenswaarden. Ruimtelijke ventilatie zal naar verwachting geen bijdrage leveren aan een significante verlaging van de blootstelling aan fijnstof. Er is zelf een kans dat, als de ventilatie zorgt voor hoge luchtsnelheden, stof dat aanwezig is in tunnels juist wordt opgewerveld en de blootstelling wordt verhoogd. De in de tunnel aangebrachte ventilatiesystemen zijn primair bedoeld voor verdrijving van rook ten tijde van een calamiteit (brand). Ons advies is om deze systemen te beperken voor dat doel.

Mocht men desondanks overwegen om toch ventilatiesystemen in te zetten tijdens werkzaamheden in de tunnel, bijvoorbeeld met als doel dieseluitlaatgassen af te voeren, dan is het verstandig om eerst te verifiëren of er geen sprake is van opwerpen van relevante hoeveelheden stof, bijvoorbeeld door de inzet van de real-time stofmetingen (voorafgaand en gedurende het aanzetten van de ventilatie). In de literatuur worden diverse ventilatieoplossingen daarvoor aangedragen [23].

Stof uit andere bronnen

Belangrijk is om te realiseren dat er tijdens werkzaamheden wel stof kan vrijkomen zoals uitlaatgassen van dieselmotoren of bij bepaalde processen bijvoorbeeld lassen en mechanisch bewerken van beton (boren, slijpen) of ballast. Voorafgaand aan de werkzaamheden dient de betreffende aannemer deze mogelijke risico's in kaart te brengen en situationele maatregelen te nemen. Deze maatregelen dienen zo brongericht mogelijk te zijn dus bijvoorbeeld on-tool afzuiging of lokale ventilatie.

Literatuuroverzicht

Overzicht voorafgaande rapporten door PreventPartner

- A. J.G. Willems, R. Houba en P. van Balen. *Beoordeling meetrapporten stofblootstelling in spoortunnels*. 5 mei 2020.
- B. P. van Balen en T. Casteel. *Notitie: Stofexplosies in spoortunnels tracé Zee-Zevenaar*. 20 april 2020.
- C. P. van Balen, J.G. Willems en R. Houba. *Literatuuronderzoek naar de samenstelling en bronnen van fijnstof in spoortunnels*. 13 juli 2020.
- D. P. van Balen, J.G. Willems en R. Houba. *Grenswaarden voor blootstelling aan fijnstof in spoortunnels*. 2 oktober 2020.1617182018.
- E. P. van Balen en R. Houba. *Project Fijnstof in Spoortunnels: Meetprotocol direct registrerende metingen*. Versie 2.0, 1 oktober 2020.
- F. P. van Balen en R. Houba. *Project Fijnstof in Spoortunnels: Meetprotocol persoonsgebonden metingen. Kaders voor oriënterende blootstellingsmetingen*. Versie 2.0, 1 oktober 2020.13456

Gebruikte bronnen en literatuur

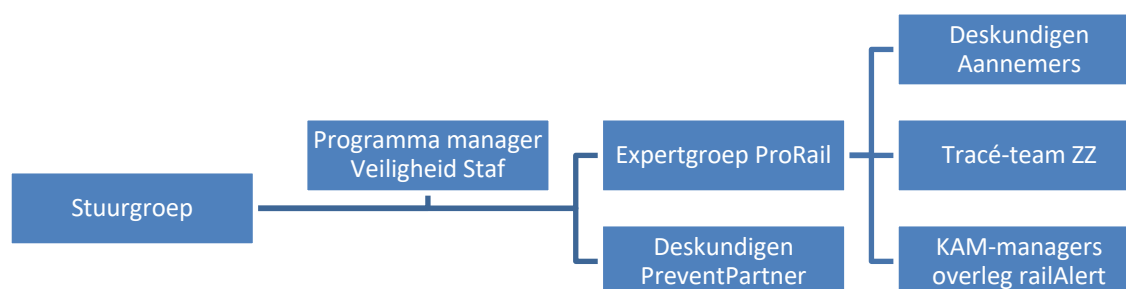
- 1. C.P. van den Dool, J. van Oosterhoud en R. van den Buijs. *Blootstellingsmetingen tijdens pilot, Reinigen ballast in de Zuidbuis Sophiatunnel*. Agel Adviseurs & NLVO Arbo en Milieuadvies BV, 2 februari 2010 en rectificatie op 17 april 2020.
- 2. J-W Peters. *Onderzoek stofblootstelling Willemsspoortunnel*. RPS, 20201102_105940_0121 versie: definitief, 14 januari 2021.
- 3. J-W. Peters. *Onderzoek stofblootstelling Sophiatunnel*. RPS, 20080041RA, versie: 1.0, 27 november 2020
- 4. J-W. Peters. *Onderzoek stofblootstelling Botlektunnel*. RPS, 20070108RAH, versie: definitief, 3 december 2020.
- 5. J-W. Peters. *Onderzoek stofblootstelling spoortunnel Delft*. RPS, 20080044RAH, versie: definitief, 10 december 2020.
- 6. C.A.C. Bulkman & W.J.T van Alphen. *Onderzoek blootstelling aan fijnstof & geluid, Station Schiphol Airport*. MUOPO Inventive Consultancy, 16 januari 2020.
- 7. Karin Verkuijlen en Daphne Doekemeijer. *Blootstellingonderzoek luchtkwaliteit werkplekatmosfeer reguliere onderhoudswerkzaamheden tunnels*. Arbo Unie, 22 oktober 2014.
- 8. C.V. de Boer, S.J. Henke en P.C. Tromp. *Onderzoek luchtkwaliteit op de perrons van treinstation Schiphol*. TNO 2017 R11567, 15 december 2017.
- 9. Optitrans. *Indicatieve metingen naar de concentratie fijnstof (PM_{2.5}) in de Sophiatunnel (17 t/m 24-11-2019) en Botlektunnel (15 t/m 18-12-2019); gemeten met SNDWay SW 625A monitor*.
- 10. A. Bulkman. *Resultaten stofonderzoek Botlektunnel*. Muopo. Brief met bijlagen 21 januari 2021.
- 11. T. Van Huizen. *Real-time metingen in spoortunnels ten behoeve van "project Fijnstof" in de Velsertunnel*. AM-P Milieu, 1 mei 2020.
- 12. T. Van Huizen. *Real-time metingen in spoortunnels ten behoeve van "Project Fijnstof" in de Hemtunnel*. AM-P Milieu, 1 mei 2020.
- 13. T. Van Huizen. *Real-time metingen in spoortunnels ten behoeve van "Project Fijnstof" in de Nijverdal spoortunnel*. AM-P Milieu, 1 mei 2020.
- 14. C.V. de Boer, S.J. Henke en P.C. Tromp. *Onderzoek luchtkwaliteit op de perrons van treinstation Schiphol*. TNO 2017 R11567, 15 december 2017.
- 15. NNI. Normcommissie 390050 'Werkplek- en buitenluchtmetingen'. Blootstelling op de werkplek - Meting van de inhalatieblootstelling aan chemische stoffen - Strategie om te voldoen aan de arbeidshygiënische blootstellingsgrenswaarden; NEN-EN-689 (2018:+C1 2019).

16. S. Maurer en S. Kuster. *Die luft im Bahnhof ist dreckiger als an stark befahrenen strassen. Die Luft in unterirdischen Bahnhöfen ist stark mit Feinstaub belastet. Die SBB sehen dennoch keinen Handlungsbedarf.* Luzerner Zeitung 27-03-2019.
17. S.V. *Doppelter Tagesgrenzwert: soviel feinstaub atmen sie in der U-bahn ein.* Focus online 17-09-2018.
18. B. Xu, J. Hao. *Air quality inside subway metro indoor environment worldwide: A review.* Environmental International 107 (2017) 33-46.
19. G. Ripanucci, M. Grana, L. Vicentini, A. Magrini en A. Bergamaschi. *Dust in the Underground Railway Tunnels of an Italian Town.* Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 3 (2006): 16–25.
20. M. Gustafson, S. Abbasi, G. Blomqvist, Y. Cha, A. Gudmundsson, S. Janhäll, C. Johansson, M. Norman en U. Olofsson. *Particles in road and railroad tunnel air. Sources, properties and abatement measures.* VTI rapport 917A. BVFF, 2016.
21. B. Bakke. P. Stewart en W. Eduard. *Determinants of dust exposure in tunnel construction work.* Appl Occup Environ Hyg. 2002 17 (11): 783-796.
22. B. Bakke en B. Ulvestadt. *Exposure to aerosols and gases in modern tunneling operations and lung function decline.* In Health, Safety and environment in Norwegian Tunneling publication 24 (pp 15-22). Norwegian Tunneling Society International Committee, May 2015)
23. J. Lima. *Development in ventilation methods.* In Health, Safety and environment in Norwegian Tunneling publication 24 (pp 47-51). Norwegian Tunneling Society International Committee, May 2015).
24. Dutch Expert Committee on Occupational Standards. BaP and PAH from coal-derived sources. Gezondheidsraad. Rapport 2006/01OSH Den Haag februari 2006.

Bijlage 1. Organisatie project fijnstof in spoortunnels

In onderstaande figuur wordt het organogram van de project organisatie van het project *Fijnstof in spoortunnels* gegeven.

Figuur 1. Projectorganisatie *Fijnstof in spoortunnels*.



Samenstelling stuurgroep:

- Kwartiermaker Strategische AM thema's (vz)
- Bestuurslid Stichting railAlert (Werkkamer Arbo)
- Adviseur Programma Goederenvervoer
- Beleidsadviseur Infrabeschikbaarheid
- Stafmedewerker A (HVK), Afdeling KVG, VolkerRail Nederland bv

Samenstelling Expertgroep ProRail

- Regionaal Veiligheidsadviseur (vz)
- Vakspecialist Kunstwerken Civiel
- Landelijk Beleidsadviseur
- Vakspecialist TT
- Vakspecialist Beleid Team Milieu
- Beleidsadviseur Arbo

Bedrijven deskundigen aannemers

- Alstom
- Optitrans4You
- Qirion
- Rockwel
- VolkerRail Nederland bv

Bijlage 2 Overzicht werkzaamheden

In de volgende tabel zijn activiteiten die met aannemers zijn geïnventariseerd en beoordeeld op risico's van de blootstelling geclusterd. De kleuren die zijn gebruikt in de tabel zijn enkel een visueel hulpmiddel en zijn geen indicatie van de relatieve hoogte van de blootstelling. Daarvoor dient tabel 1 uit het rapport gebruikt te worden.

Soort activiteit	Activiteit	Specifieke locatie	Handeling	Type gevaar
Lopen op ballast of schouwpad	Inspectie of lopen naar specifieke locatie voor reparatie of resetten	Tunnelbuis	Lopen over schouwpad vanaf dichtstbijzijnde doorgang of toegang. Meestal via dienstgebouw toegang. Meerdere km.	Opwervelen van (fijn)stof van schouwpad.
Lopen op ballast of schouwpad	Lopen over ballastbed	Tunnelbuis	Lopen over ballastbed om werkzaamheden uit te kunnen voeren	Opwervelen (fijn)stof uit ballastbed
Lopen op ballast of schouwpad	Inspectie of lopen naar specifieke locatie voor reparatie of resetten	Tunnelbuis	Lopen over schouwpad vanaf dichtstbijzijnde doorgang of toegang. Max 2,5 km. (> 4 personen). Meestal via dienstgebouw toegang.	Opwervelen van (fijn)stof van schouwpad.
Lopen op ballast of schouwpad	Testen brandblusinstallatie	Tunnelbuis	Lopen met koffer of tas	Opwervelen (fijn)stof uit ballastbed en van schouwpad.
Lopen op ballast of schouwpad	Aan en afvoer van elementen in tunnelbuis	Tunnelbuis	Lopen met elementen over schouwpad (al dan niet met wagentje of kruiwagen)	Opwervelen van (fijn)stof van schouwpad.
Lopen op ballast of schouwpad	Uitvoeren visuele inspectie	Tunnelbuis	Lopen in tunnelbuis	Opwervelen van (fijn)stof van schouwpad.
Lopen op ballast of schouwpad	Vervangen/verplaatsen van Balises bracket	Tunnelbuis	- lopen in tunnelbuis - boren van gaten in dwarsligger tbv balise bracket (NB ACTIVITEITEN IN DE TUNNEL DIE ZELF STOF PRODUCEREN NEMEN WE NIET MEE)	Opwervelen van (fijn)stof van schouwpad.
Lopen op ballast of schouwpad	Inspectie veilige bereikbaarheid spoor	Tunnelbuis	2 Medewerkers lopen samen door een tunnelbuis heen (max 1 uur) en terug (max 1 uur)	Opwervelen van (fijn)stof van schouwpad.
Lopen op ballast of schouwpad	Inspectie veilige bereikbaarheid spoor (Sophia-tunnel)	Tunnelbuis	2 Medewerkers lopen samen door een tunnelbuis heen (max 2,5 uur) en terug (max 2,5 -3 uur)	Opwervelen van (fijn)stof van schouwpad.
Lopen op ballast of schouwpad	RCF-inspectie mbv tablet	Tunnelbuis	2 Medewerkers lopen samen door een tunnelbuis heen (max 1 uur) en terug (max 1 uur)	Opwervelen van (fijn)stof van schouwpad.

Lopen op schouwpad	RCF-inspectie mbv tablet (Sophia-tunnel)	Tunnelbuis	2 Medewerkers lopen samen door een tunnelbuis heen (max 2,5 uur) en terug (max 2,5 uur)	Opwervelen van (fijn)stof van schouwpad.
Lopen op ballast of schouwpad	Goed huisvaderschap Kunstwerken	Tunnelbuis	2 man, tunnel doorlopen , deuren testen etc. Max 4 uur per buis	Opwervelen van (fijn)stof van schouwpad en bij openen deuren
Lopen op ballast of schouwpad	Inspectie ongediertebestrijding	Tunnelbuis	1 man, controle lokdozen, lopend door tunnel en dwarsverbindingen. Max. 2 uur.	Opwervelen en vallen van (fijn) stof door roeren en openen lokdozen. Opwervelen van (fijn)stof uit ballastbed, van schouwpad en bij openen deuren
Lopen op ballast of schouwpad	Uitvoeren shunten van een sectie 	Tunnelbuis	- lopen naar locatie in tunnelbuis - plaatsen kortsluitlans in het spoor (zie foto) - wegnemen kortsluitlans uit het spoor	Opwervelen van (fijn)stof van schouwpad.
Lopen op ballast of schouwpad	Reinigen van SMB/Gubela in de tunnelbuis	Tunnelbuis	- lopen door tunnelbuis - reinigen met water en borstel van de SMB (= stopmerkborden)/Gubela (= reflector post) Bij inschatting risico's er vanuit gegaan dat bij natreinigen geen stof vrijkomt	Opwervelen van (fijn)stof van schouwpad.
Lopen op ballast of schouwpad	Oplossen besturingsstoring	Serviceruimten - dwarsverbinding	Inspectie of vervanging/wisselen apparaat Werkzaamheden zelf vinden in serviceruimte dwarsverbinding plaats, dus lijkt het vooral te gaan over de weg er naar toe.	Opwervelen van (fijn)stof van schouwpad en bij openen deuren
Lopen op ballast of schouwpad	Oplossen besturingsstoring	Serviceruimten - dwarsverbinding	Inspectie of vervanging/wisselen apparaat Werkzaamheden zelf vinden in serviceruimte dwarsverbinding plaats, dus lijkt het vooral te gaan over de weg er naar toe.	Opwervelen van (fijn)stof van schouwpad en bij openen deuren
Lopen op ballast of schouwpad	Diverse sein-technisch werkzaamheden, vaak lopend (voortschrijdend) werk door de tunnel.	Tunnelbuis	2 man, met handgereedschap waaronder een handslijpertje en een lassetje. (NB ACTIVITEITEN IN DE TUNNEL DIE ZELF STOF PRODUCEREN NEMEN WE NIET MEE). Dus lijkt vooral te gaan over het er naar toe lopen	Opwervelen van (fijn)stof van schouwpad en bij openen deuren

Voertuigen op de spoorbaan	Voertuigen op spoorbaan	Tunnelbuis	In- en uitrijden railgebonden hoogwerker. De betreffende medewerker zit in het voertuig.	Opwervelen (fijn)stof uit ballastbed en van schouwpad.
Voertuigen op de spoorbaan	Voertuigen op spoorbaan	Tunnelbuis	Motorvoertuigen zoals een Krol transporteren. Rijdt 25 km/uur. Medewerker zit in het voertuig (deur is dicht, natuurlijke ventilatie)	Opwervelen (fijn)stof uit ballastbed en van schouwpad.
Voertuigen op de spoorbaan	Onderhoud en inspectie daknet en branddetectie(lint)	Tunnelbuis	2 man, met railloc door tunnel. Max. 8 uur. Voertuig rijdt 10 km per uur. Medewerkers zitten erop, soms er in.	Opwervelen (fijn)stof uit ballastbed en van schouwpad.
Passage op spoorbaan van voertuig	Passage op spoorbaan van voertuig	Tunnelbuis	Indien personen in de tunnel aan het werk zijn en een voertuig passeert.	Opwervelen (fijn)stof uit ballastbed
Openen van kasten, deuren,	Openen en sluiten (kleppen)kasten met aan de bovenzijde en inwendig aanwezig stof	Tunnelbuis	Openen en sluiten van deuren	Opwervelen en vallen van (fijn) stof van/in de kast
Openen van kasten, deuren,	Openen en sluiten van (vlucht)deuren in tunnelbuis	Tunnelbuis	Schuifdeuren openen en sluiten in tunnel	Opwervelen van (fijn)stof van schouwpad en bij openen deuren
Openen van kasten, deuren,	Correctief onderhoud in kleppenkasten/regelkasten van de laagspannings-verdeelinrichtingen.	Tunnelbuis	Vervangen beveiligingsautomaat	Opwervelen en vallen van (fijn) stof van/in de kast
Openen van kasten, deuren,	Correctief onderhoud aan handafsluiter, brandblusinstallatie in kleppenkast	Tunnelbuis	Vervangen standmelder	Opwervelen en vallen van (fijn) stof van/in de kast
Openen van kasten, deuren,	Correctief onderhoud aan hardware (I/O van besturingssystemen)	Tunnelbuis	Vervangen onderdelen	Opwervelen en vallen van (fijn) stof van/in de kast
Openen van kasten, deuren,	Lokaal resetten kortsluitdetector tunnelbuis	Tunnelbuis	Resetten stoffige drukknop t.b.v. Indicator.	Opwervelen en vallen van (fijn) stof van/in de kast
Openen van kasten, deuren,	Vervanging kortsluitdetector tunnelbuis	Tunnelbuis	Vervangen van de kast met kortsluitdetecor	Opwervelen en vallen van (fijn) stof van/in de kast
Openen van kasten, deuren,	Resetten storing aan SCI kast in dwarsverbinding	Tunnelbuis en serviceruimten	Lopen door tunnelbuis naar betreffende dwarsverbinding Openen van deuren vanuit tunnel naar dwarsverbinding Openen van SCI-kasten.	Opwervelen van (fijn)stof van schouwpad en bij openen deuren
Openen van kasten, deuren,	Oplossen storing kleppenkast	Tunnelbuis	Inspectie of vervanging/wisselen apparaat	Opwervelen en vallen van (fijn)

				stof van/in de kast
Openen van kasten, deuren,	Onderhoud Minuskast	Tunnelbuis	Openen kast	Opwervelen en vallen van (fijn) stof van/in de kast
Openen van kasten, deuren,	Inspectiewerkzaamheden Brandmeldbeveiliging, vorstbeveiliging en kleppenkasten.	Tunnelbuis en en dwarsverbindingen	1 man, lopend door tunnel en dwarsverbindingen, openen meerdere kasten. Max. 4 uur.	Opwervelen en vallen van (fijn) stof van/in de kast. Opwervelen van (fijn)stof van schouwpad en bij openen deuren
Openen van kasten, deuren,	Onderhoud OPUS treinpedaal	Tunnelbuis	1 man, openen en schoonmaken kasten in ballastbed. Meerdere kasten per tunnel.	Opwervelen en vallen van (fijn) stof door roeren en openen kasten. Opwervelen van (fijn)stof uit ballastbed, van schouwpad en bij openen deuren
Openen van kasten, deuren,	Onderhoud laagspanning, regelkast ventilatie-unit.	Dwarsverbindingen en tunnelbuis	1 man, openen en schoonmaken kasten. Meerdere kasten per verbinding en tunnel.	Opwervelen en vallen van (fijn) stof van omkasting.
Openen van kasten, deuren,	Oplossen storing aan Soulé in condensator bank	Tunnelbuis	Openen deksel condensatorbank afmeting is ca. 1,5 x 4 meter) Hier komt veel stof bij vrij.	Opwervelen en vallen van (fijn) stof van/in de kast
Kabelgoten	Voorbereiden om te kunnen werken in kabelgoten	Tunnelbuis	Openen en sluiten van kabelgoten door lichten van tegels - rommelen in kabelgoten om reparaties uit te kunnen voeren.	Opwervelen van (fijn)stof van schouwpad. Opwervelen (fijn)stof op of in kabelgoot
Kabelgoten	Correctief onderhoud aan (glasvezel)kabels.	Tunnelbuis	Herstelwerkzaamheden bekabeling	Opwervelen van (fijn)stof op schouwpad. Opwervelen (fijn)stof op of in kabelgoot
Kabelgoten	Visuele inspectie van bekabeling / element in de kabeltunnelgoot en onderhoud/ reparatie/vervanging	Tunnelbuis	- Openen kabelgoot - Verschuiven bekabeling - Sluiten kabelgoot - Aanbrengen nieuwe bekabeling / element	Opwervelen van (fijn)stof op schouwpad. Opwervelen (fijn)stof op of in kabelgoot
Kabelgoten	Onderhoud instrumentatie	Tunnelbuis	2 man, heffen looppadtegels. Meerdere locaties per tunnel.	Opwervelen en vallen van (fijn) stof van de tegels. Roeren, zoeken en reinigen instrumenten in/onder stof.

				Opwervelen van (fijn)stof van schouwpad en bij openen deuren
Werken in ballast bed	Vervangen van een unit gemonteerd tussen de spoorstaven (tuning unit of balise)	Tunnelbuis	- Lopen naar locatie vanaf toegang met component(en) - Losschroeven element van de spoorstaaf - Uitgraven uit ballastbed van element - Ingraven nieuw element in ballastbed - Nieuw element verbinden aan de spoorstaaf - Uitvoeren van "shunten" van een sectie - Lopen van de locatie naar toegang met component(en)	Opwervelen (fijn)stof uit ballastbed en van schouwpad.
Werken in ballast bed	Vervanging sps, ES-las etc	Tunnelbuis	3 spl, 2 lassers, BBD, kraanmachinist, laskar, krol, afhankelijk te vervangen onderdeel tot max 7 uur. (NB ACTIVITEITEN IN DE TUNNEL DIE ZELF STOF PRODUCEREN NEMEN WE NIET MEE). Dus lijkt vooral te gaan over het er naar toe lopen. Mogelijk iets stof uit ballast bed bij lassen.	Opwervelen (fijn)stof uit ballastbed en van schouwpad.
Werken in ballast bed	Klein liggingsonderhoud	Tunnelbuis	3 spl, BBD, kraanmachinist, krol met stopunit en lorrie, afhankelijk te vervangen aantal tot max 7 uur.	Opwervelen (fijn)stof uit ballastbed en van schouwpad.
Werken in ballast bed	Voertuigen op spoorbaan (skelter)	Tunnelbuis	Plaatsen van de skelter op rails. Beroering van ballastbed door meerdere personen. Onder verhoogde snelheid verplaatsen in de tunnelbuizen en daarmee weer lucht verplaatsing en tijdens fysieke belasting. Medewerkers zitten op het voertuig.	Opwervelen (fijn)stof uit ballastbed en van schouwpad.
Bovenleiding	Inspectie bovenleiding tunnel	Tunnelbuis	2 medewerkers met een railgebonden machine, 1 - 2 uur per spoor Degene die onderhoud aan bovenleiding doet staat in open cabine	Opwervelen (fijn)stof uit ballastbed. (Fijn)stof dwarrelt van bovenleiding.
Bovenleiding	Inspectie bovenleiding tunnel (Sophiatunnel)	Tunnelbuis	2 medewerkers met een railgebonden machine, 4 uur per spoor Degene die onderhoud aan bovenleiding doet staat in open cabine	Opwervelen (fijn)stof uit ballastbed. (Fijn)stof dwarrelt van bovenleiding.
Schoonmaken	Inspectie en schoonmaken aardraitjes	Tunnelbuis	Openwrikken en kantelen van de deksels Met poetsdoek schoonmaken isolatoren	Opwervelen van (fijn)stof van schouwpad. Opwervelen (fijn)stof van of in kabelgoot

Schoonmaken	Schoonmaken condensatoren in condensatorbank (incl. verwijderen bouwzeil aan binnenzijde ter bescherming van fijnstof).	Tunnelbuis	Schoonmaken met stofzuiger en daarna met poetsdoeken.	Opwervelen en vallen van (fijn) stof van/in de kast
Schoonmaken	Onderhoud brandwerende deuren	Tunnelbuis en dwarsverbindingen	1 man, schoonmaken, -blazen deur, geleiding en aansluitingen. Meerdere deuren per shift. Schoonmaken met iets vochtig poetsdoekje, kort gebruik van perslucht (minder dan 0,5 minuut)	Opwervelen en vallen van (fijn) stof van deuren, (af)sluitingen en geleiding. M.n. het verwijderen stof uit holten, naden en spleten.
Schoonmaken	Onderhoud (schoonmaken) brandkleppen, intercom, gasdetectie, optische waarschuwing en telefoontoestellen	Tunnelbuis en dwarsverbindingen	1 man, reinigen buitenzijden, meerdere installaties per tunnel c.q. dwarsverbinding. Schoonmaken met een iets vochtig poetsdoekje.	Opwervelen en vallen van (fijn) stof van/in de (om)kast(ing). Opwervelen van (fijn)stof van schouwpad en bij openen deuren
Schoonmaken	Keuren hijs-, hef- en klimmaterieel	Dwarsverbindingen	1 man, keuren en reinigen materieel. Schoonmaken met een iets vochtig poetsdoekje.	Opwervelen en vallen van (fijn) stof van en uit de middelen.
Stoffilters wisselen	Wisselen stoffilter Rittal kast ventilator	Service-ruimten – dwarsverbinding	Wisselen stoffilter	Opwervelen van (fijn)stof van schouwpad en bij openen deuren
Stoffilters wisselen	Onderhoud (overdruk)ventilatoren	Dwarsverbindingen	1 man, reinigen buitenzijden, vervangen stoffilters!, reinigen binnenzijden. Meerdere installaties per tunnel.	Opwervelen en vallen van (fijn) stof van omkasting. M.n. het verwijderen stoffilter en stof van de draaiende delen en uit de omkasting.

Bijlage 3 Overzicht tunnelkarakteristieken

In het project is de definitie van een tunnel toegepast zoals die binnen ProRail wordt gebruikt.

Tunnels > 250 meter	Tunnel				Type spoorstaaf bevestiging		Transport		Ondergronds station
	Lengte m (gesloten)	Type	Helling in tunnel	Ventilatie aanwezig	Vast bevestiging (betondek)	Ballast	reizigers	goederen	
Zee tot Zevenaar (Goederen):									
Botlekunnel	1.835	Boortunnel	Ja	Ja		X		X	
Overkapping Barendrecht	1.500	Overkapping	Nee	Ja		X		X	
Sophiatunnel	4.240	Boortunnel	Ja	Ja		X		X	
Giessentunnel	500	Cut and cover	Ja	Ja		X		X	
Pannerdensch kanaal tunnel	1.615	Boortunnel	Ja	Ja		X		X	
Tunnel Zevenaar	1.500	Cut and cover	Nee	Ja		X		X	
Conventioneel (Reizigers):									
Willemsspoortunnel	2.608	Cut and cover/Zinktunnel	Ja	Ja		X	X	X	X
Overkapping Barendrecht	1.500	Overkapping	Nee	Ja		X	X		X
Tunnel Rijswijk	550	Cut and cover	Nee	Nee		X	X		X
Tunnel Delft	2.300	Wanden-dakmethode	Ja	Ja		X	X		X
Hemspoortunnel	1.550	Zinktunnel	Ja	Ja	X		X		
Velsertunnel	2.076	Cut and cover	Ja	Ja		X	X	X	
Tunnel Best	935	Cut and cover	Ja	Ja		X	X	X	X
Tunnel Nijverdal	493	Cut and cover	Ja	Ja		X	X		
Schiphol tunnel	5.140	Cut and cover/Zinktunnel	Ja	Ja	X		X		X
Drontemeertunnel	800	Cut and cover	Ja	Ja		X	X		
HSL:									
Tunnel Dordtsche Kil	1.488	Zinktunnel	Ja	Ja	X		X		
Tunnel Oude Maas	1.050	Zinktunnel	Ja	Ja	X		X		
Tunnel Groen Hart	7.160	Boortunnel	Ja	Ja	X		X		
Tunnel Rotterdam Noordrand	2.063	Wanden-dakmethode	Nee	Ja	X		X		
Dive-under Barendrecht	432	Cut and cover	Ja	Nee		X	X		
Overkapping Barendrecht	1.500	Overkapping	Nee	Ja		X	X		

Bijlage 4 Overzicht van de resultaten metingen blootstelling relevante componenten:

Bijlage 4.1

In dit project zijn in vier tunnels persoonsgebonden metingen uitgevoerd naar de samenstelling van het stof (componenten). In het spreadsheet van bijlage 7 zijn deze waarden allemaal opgenomen. In de onderstaande tabel zijn voor de gezondheid meest relevante componenten statistisch geanalyseerd en de resultaten samengevat. Voor inhaleerbaar en respirabel stof is onderscheid gemaakt tussen alle meetresultaten en die van de uitgevoerde pilotprojecten (in 2020).

Gemeten component	Aantal metingen	Aantal metingen boven detectiegrens	Minimum	Maximum	GM	GSD	Eenheid	UTL _{95%,70%} ¹⁶	% grenswaarde UTL _{95%,70%}
Inhaleerbaar stof (alle)	21	16	<0,07	2,63	0,304	2,95	mg/m ³	2,21	65
Inhaleerbaar stof (2020)	18	13	<0,07	1,32	0,237	2,42	mg/m ³	1,26	32
Respirabel stof (alle)	18	11	<0,07	0,31	0,145	1,66	mg/m ³	0,38	10
Respirabel stof (2020)	16	9	<0,07	0,31	0,136	1,69	mg/m ³	0,37	9
Koper (inhaleerbaar)	16	14	0,102	3,33	0,982	3,06	µg/m ³	8,52	8,5
Koper (respirabel) ¹⁷	11	4	0,069	1,02 ¹⁸	NB	NB	µg/m ³	NB	NB
Nikkel (inhaleerbaar)	16	4	<0,058	0,25	0,17	1,97	µg/m ³	0,6	6
Ni (respirabel) ¹⁹	11	0	<0,055	<6.37	NB	NB	µg/m ³	NB	NB
Mangaan (inhaleerbaar)	16	14	0,085	1,48	0,87	2,94	µg/m ³	2,26	1,1
Mangaan (respirabel)	13	3	0,055	0,20	0,72	4,39	µg/m ³	12,8	25,6
Kwarts (respirabel)	12	5	<1.39	7,86	3,01	1,93	µg/m ³	10,99	14,7
Benzo(a)pyreen (respirabel)	9	2	<0,001	0,005	0,001	2,34	µg/m ³	0,007	1,3

¹⁶ De UTL_{95%,70%} is de waarde die statistisch met 70% betrouwbaarheid wordt bepaald dat minimaal 95% van de blootstellingen onder deze waarde blijven en is berekend conform EN-689: 2018 §5.5.3 en Annex F en H met BWStat v3 en IHDA v 1.37.

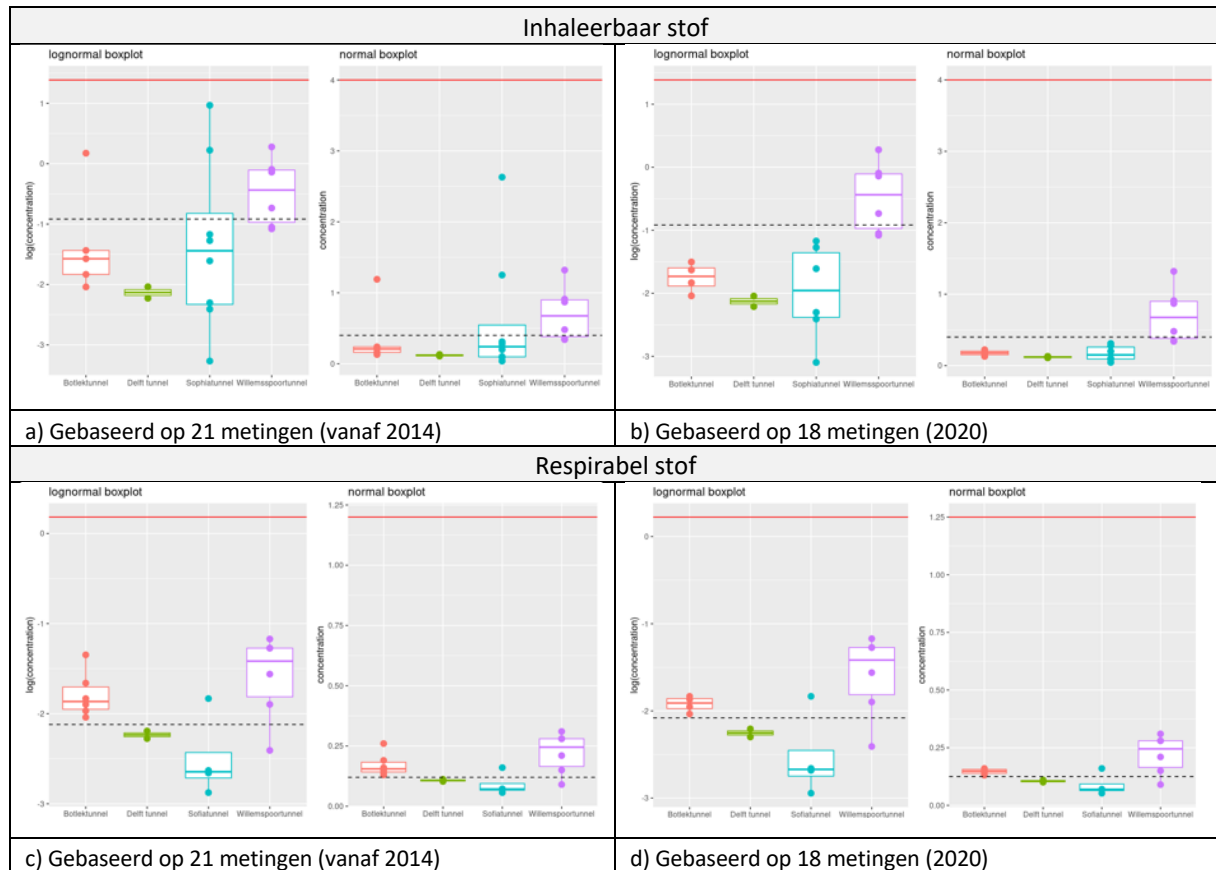
¹⁷ Het merendeel van de meetresultaten is onder de detectiegrens zodat toetsing volgens EN 689 niet mogelijk is.

¹⁸ Is de hoogste gemeten waarde boven de detectiegrens. Er zijn metingen uitgevoerd waarbij de detectiegrens boven deze waarde lag.

¹⁹ Alle meetresultaten zijn onder de detectiegrens zodat toetsing volgens EN 689 niet mogelijk is.

Bijlage 4.2

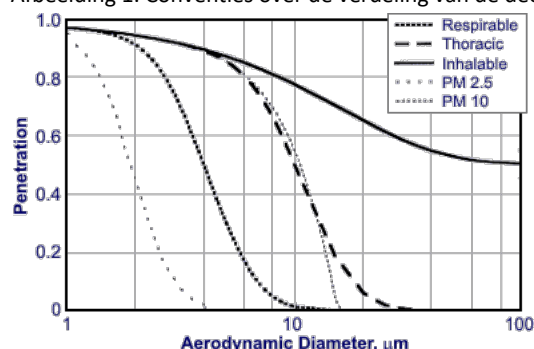
In de onderstaande afbeeldingen zijn de lognormal-boxplots en normaal boxplots weergegeven voor de 4 tunnels. Afbeeldingen a en c zijn de boxplots gebaseerd op de 21 metingen vanaf 2014. Afbeeldingen b en d zijn de boxplots gebaseerd op de metingen van 2020. In de rechter boxplot is op de verticale as steeds de gemeten concentratie in mg/m^3 uitgezet. In de linker-boxplot het logaritme van de concentratie. Een concentratie tussen 0 en 1 is een negatief getal. De rode lijn is de grenswaarde en de gestippelde lijn 10% van die grenswaarde. Omdat blootstellingen log-normaal verdeeld zijn is in de hoofdttekst de afbeelding van de lognormaal boxplot opgenomen.



Bijlage 5 Resultaten direct uitleesbare metingen tijdens inspectie- en onderhoudswerkzaamheden.

In het project zijn in een drietal tunnels real-time metingen uitgevoerd om een indruk te krijgen van de stof blootstelling in de tijd. In onderstaande tabel 1 zijn de resultaten van taakgerichte metingen met behulp van deze direct uitleesbare apparatuur samengevat. Omdat niet altijd gebruik kan worden gemaakt van meetapparatuur die de stoffracties van respirabel en/of inhaleerbaar stof kunnen bepalen is gekozen om de stoffractie gemeten als PM_{2,5} te gebruiken als benadering voor respirabel stof en PM₁₀ voor inhaleerbaar stof (zie ook de conventies daarover in de afbeelding hieronder).

Afbeelding 1. Conventies over de verdeling van de deeltjesgrootte en de fractie waartoe deze behoren.



Samenvatting meetresultaten

Tabel 1. Resultaten indicatieve metingen in 3 spoortunnels tijdens inspectiewerkzaamheden.

Tunnel	Tijdsduur metingen (uu:min)	Stofcomponent	Concentratie stof in mg/m ³				% grenswaarde max TGG8 uur (TGG 15 min)
			Start	Einde	Max	Gemiddelde	
Velserspoortunnel	1:10	PM ₁₀	0,036	0,048	0,205	0,095	5,1 (2,6)
		PM _{2,5}	0,018	0,013	0,04	0,017	3,2 (1,6)
Hemtunnel	1:20	PM ₁₀	0,028	0,048	1,39	0,095	34,8 (17,4)
		PM _{2,5}	0,010	0,016	0,099	0,020	7,9 (4,0)
Nijverdal tunnel	0:42	PM ₁₀	0,031	0,040	0,073	0,037	1,8 (0,9)
		PM _{2,5}	0,017	0,023	0,030	0,025	2,4 (1,2)

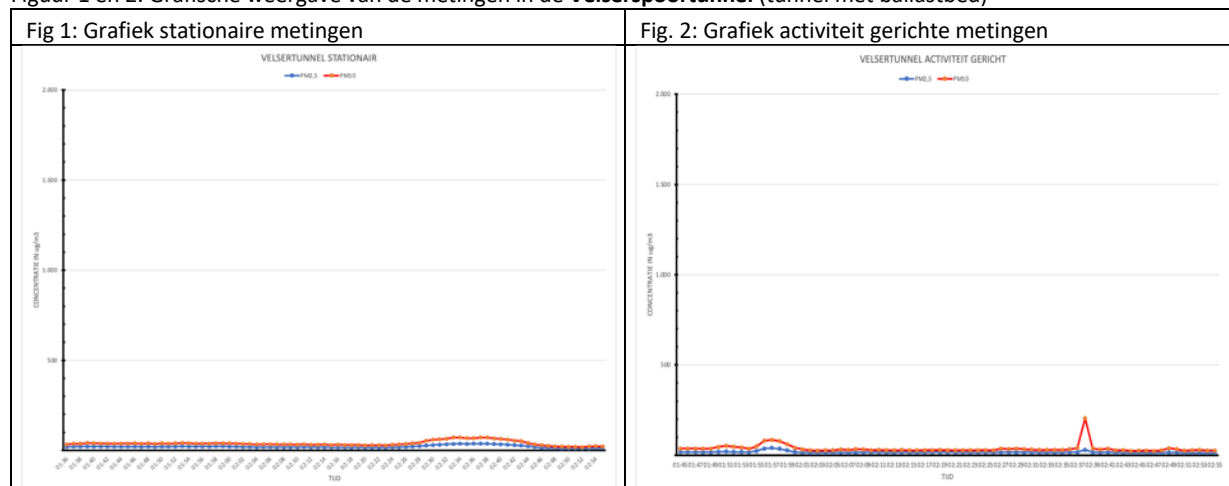
Grafische weergave

In de onderstaande figuren (1 t/m 6) zijn de grafieken weergegeven voor de 3 tunnels waar de metingen zijn uitgevoerd. In de tunnel is een stationaire meting uitgevoerd tijdens de metingen en zijn activiteit gerichte metingen uitgevoerd in de nabije omgeving van de uitvoerende werknemers.

In de 6 grafieken staat de concentratie stof uitgedrukt in µg/m³ op de verticale as. Het maximum van de as is gesteld op 2000 µg/m³ om de blootstelling in de 3 verschillende situaties visueel eenduidig te kunnen vergelijken. De primaire eenheden staan aan de buitenzijde vermeld in stappen van 500 µg/m³.

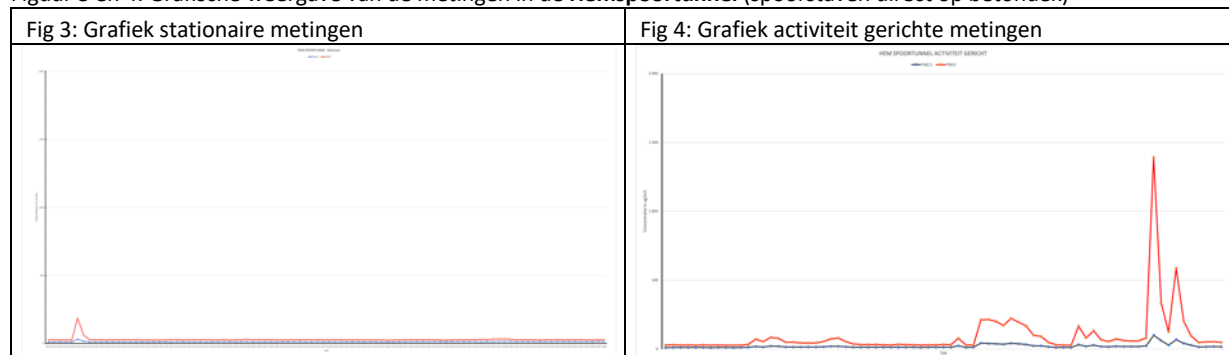
De streepjes aan de binnenzijde gaan in stappen van $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Op de horizontale as is de tijd uitgezet vanaf de start van de meting. Omdat de meetduur verschilt is de eenheid in de 3 situaties anders.

Figuur 1 en 2. Grafische weergave van de metingen in de **Velserspoortunnel** (tunnel met ballastbed)



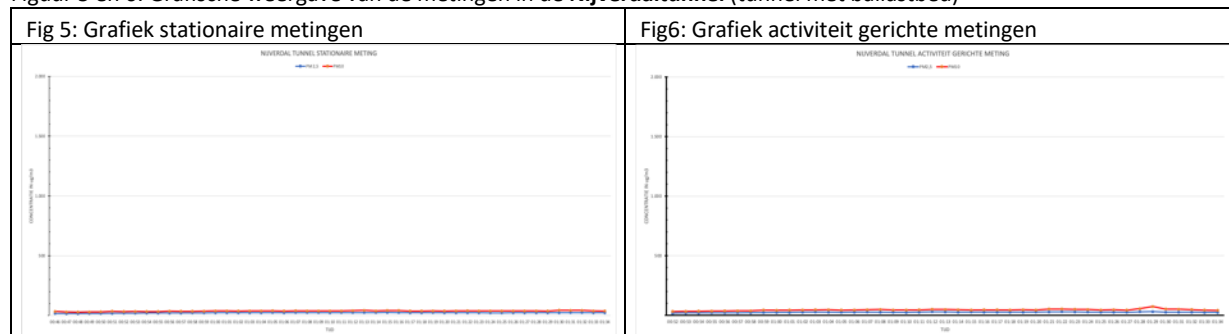
De piek bij de activiteitgerichte metingen is gemeten tijdens het afborstelen van een lichtkap waarin de lamp werd vervangen.

Figuur 3 en 4. Grafische weergave van de metingen in de **Hemspoortunnel** (spoorstaven direct op betondek)



De pieken bij de activiteit gerichte metingen in de Hem tunnel zijn gemeten bij het gebruik van borstels en perslucht tijdens het reinigen van deuren. De piek van bijna $1400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ is gemeten bij het gebruik van perslucht.

Figuur 5 en 6. Grafische weergave van de metingen in de **Nijverdaltunnel** (tunnel met ballastbed)



In de Nijverdaltunnel zijn kleine variaties gemeten bij hele lage concentraties stof in de lucht.

Bevindingen

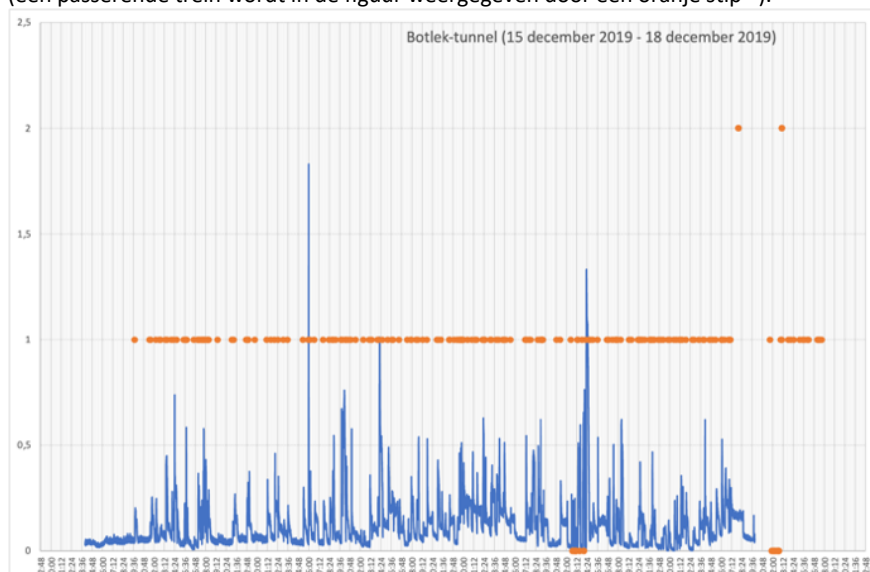
1. Bij geen van de drie tunnels werden tijdens de werkzaamheden de grenswaarden voor inhaleerbaar of respirabel stof overschreden.
2. Opvallend verschil tussen de tunnels met ballast (Velserspoortunnel en Nijverdaltunnel) en de tunnel waarbij de spoorstaven direct op het betondek zijn gemonteerd (Hemspoortunnel). In deze laatste tunnel werden hogere maximale waarden gemeten voor stofblootstelling dan in de tunnels met ballast. De Hemspoortunnel ligt in het havengebied van Amsterdam. In deze tunnel werd tijdens werkzaamheden gebruik gemaakt van perslucht voor het reinigen van deuren.
3. Deze resultaten zijn in lijn met de persoonsgebonden en direct uitleesbare metingen die op andere plaatsen zijn uitgevoerd.
4. Direct uitleesbare meters zijn geschikt voor het bepalen van het actuele bloottellingsniveau aan fijnstof in tunnels.

Bijlage 6 Patroon van stofconcentraties door treinpassages

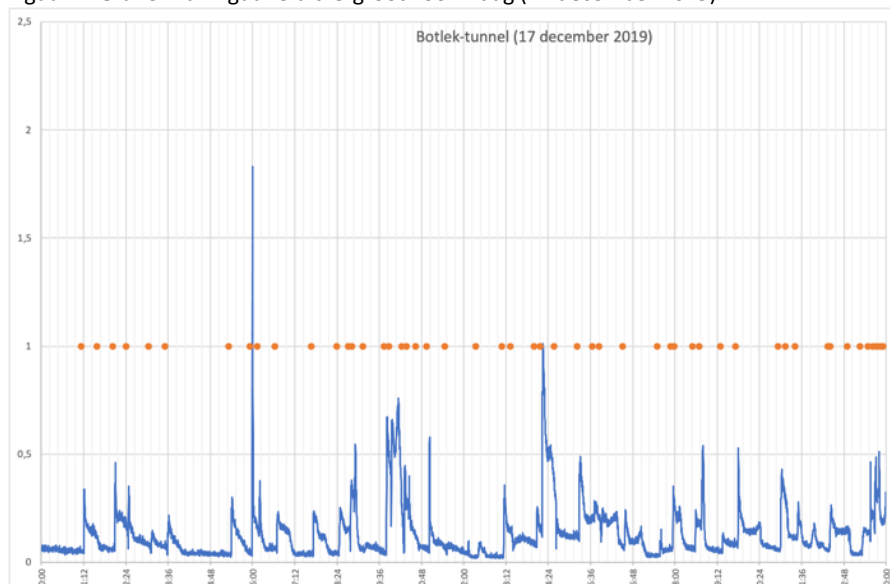
In 2019 zijn door een contractpartner van ProRail over een langere periode verkennende metingen uitgevoerd naar het opwervelen van stof in tunnels door het passeren van treinen [9]. Op de verticale as is de concentratie stof weergegeven in mg/m^3

Onderstaand figuur 1 en 2 is te zien dat stof ($\text{PM}_{2.5}$ -fractie) wel voor korte duur opwervelt, maar dat het stofniveau ook weer snel naar het achtergrondniveau daalt. Deze metingen zijn uitgevoerd in het midden van de Botlektunnel. In figuur 3 en 4 wordt een vergelijkbaar patroon gezien in de Sofiatunnel.

Figuur 1: Stofmetingen ($\text{PM}_{2.5}$) over meerdere dagen in midden van Botlektunnel, pieken bij passerende treinen (een passerende trein wordt in de figuur weergegeven door een oranje stip²⁰).

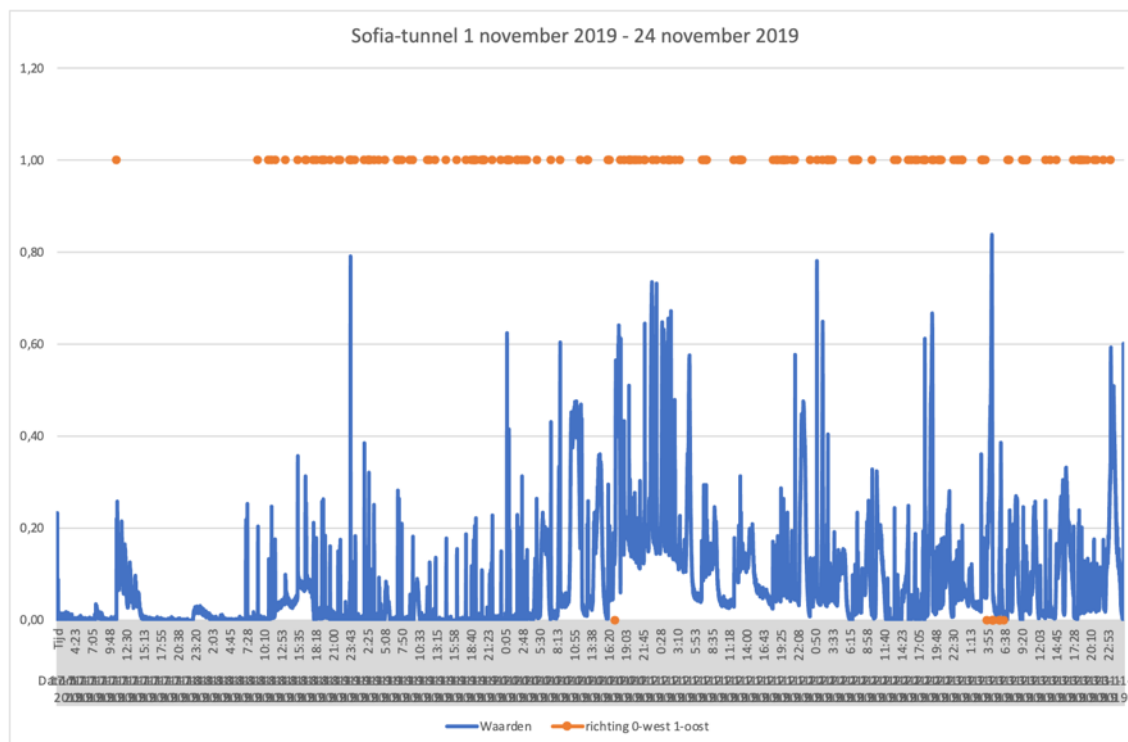


Figuur 2. Grafiek van figuur 3 uitvergroot voor 1 dag (17 december 2019).

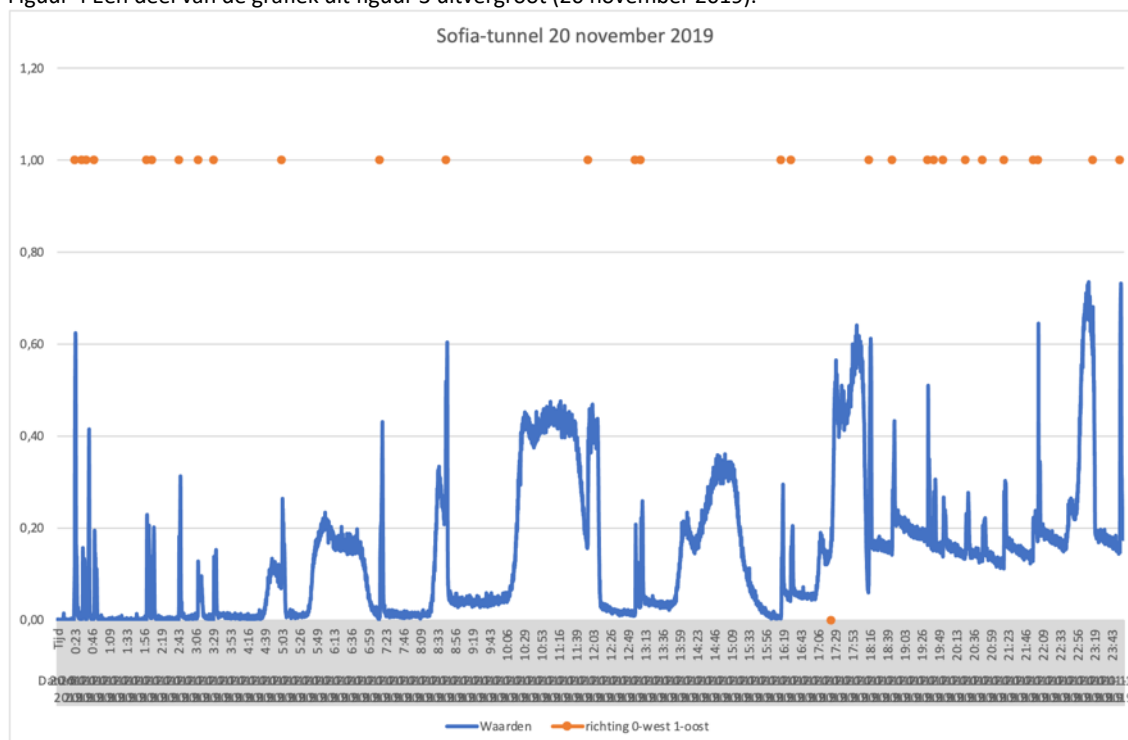


Figuur 3: stofmetingen ($\text{PM}_{2.5}$) over meerdere dagen in Sofiatunnel, pieken bij passerende treinen (elke passerende trein wordt in de figuur weergegeven door een oranje stip)

²⁰ Niet iedere treinpassage kon in de administratie worden teruggevonden.



Figuur 4 Een deel van de grafiek uit figuur 3 uitvergroet (20 november 2019).



Bijlage 7 Overzicht van de grenswaarden

In deze bijlage is het overzicht opgenomen van de grenswaarden die zijn gebruikt voor toetsing van de blootstelling aan componenten van stof in spoortunnels. Voor de onderbouwing van deze grenswaarde wordt verwezen naar het onderliggende rapport [D].

In de onderstaande tabel zijn de grenswaarden voor 8 uren blootstelling bij elkaar gezet.

Agens	Grenswaarde in mg/m ³ 8 uur TGG	
	Respirabele fractie	Inhaleerbare fractie
Inhaleerbaar stof		4
Respirabel stof	1,25	
IJzer	1,25	3
Koper	0,01	0,1
Aluminium	1	
Barium		0,5
Chroom (metallisch)		0,5
Magnesium		4
Mangaan	0,05	0,2
Nikkel	0,005	0,01
Zink		4
Kwarts	0,075	
Koolstof (grafiet)	0,3	2
PAK's (benzo(a)pyreen)	0,00055	

Voor een aantal agentia worden ook grenswaarden voor kortdurende blootstelling voorgesteld. Deze zijn in de onderstaande tabel samengevat.

Agens	Grenswaarde in mg/m ³ 15 min TGG	
	Respirabele fractie	Inhaleerbare fractie
Inhaleerbaar stof		8
Respirabel stof	2,5	
Koper	0,02	
Barium		0,5

Bijlage 8. Meetresultaten

Apart spreadsheet: Uitslagen metingen stof in spoortunnels.