
Literatuuronderzoek naar de samenstelling en bronnen van fijnstof in spoortunnels.

ProRail

Datum: 8 juli 2020

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

Review en goedgekeurd: Expertteam ProRail

Aangenomen Stuurgroep: 13 juli 2020

Onderwerp: samenstelling fijnstof in spoortunnels

Kenmerk: 2020713-1PvB

Inhoud

1. Inleiding	3
1.1 Aanleiding	3
1.2 Vraagstellingen	3
1.3 Opzet onderzoek	3
1.4 Indeling rapport	4
2. Nederlandse informatie	5
2.1 Fijnstof aan de buitenzijde van treinen	5
2.2 Aard van de stoffen in Nederlandse tunnels	5
3. Buitenlandse informatie, technische en wetenschappelijke informatie	7
3.1 Bronnen van fijnstof in buitenland	7
3.2 Aard van de stoffen in buitenlandse trein- en metrotunnels	8
3.3 Samenstelling van treingebonden bronmateriaal	8
4. Andere bronnen van fijnstof	10
4.1 Lading	10
4.2. Schuimvormende blusmiddelen	10
5. Samenvattend	11
5.1 Soorten bronnen	11
5.2 Soorten stoffen/componenten	11
5.3 Gezondheidsrisico's	12
Gebruikte bronnen en literatuur	13
Bijlage A. Samenstelling verschillende elementen van remmen.	15
Bijlage B. Samenstelling van verschillende wielen	16

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

Al geruime tijd is de aanwezigheid van stof in spoortunnels onderwerp van discussie over mogelijke risico's voor de veiligheid en gezondheid voor personen die deze tunnels moeten betreden of werkzaamheden in deze tunnels moeten uitvoeren. Blootstelling aan stof kan plaats vinden door het aan te raken met de onbeschermdede huid. Een deel van het stof kan in de vorm van fijnstof in de lucht komen en worden ingeademd.

Onder andere ProRail en NS hebben onderzoeken laten uitvoeren om inzicht te krijgen in de hoogte van de blootstelling en de samenstelling van het fijnstof. Ook internationaal is de aandacht voor de gezondheidsrisico's van fijnstof in spoortunnels en stations de laatste jaren toegenomen. In verschillende publicaties is geprobeerd de aard en mate van de blootstelling vast te stellen.

ProRail heeft een project gestart om heel systematisch te gaan kijken naar de blootstelling aan dat stof en de daarmee verbonden risico's van medewerkers in spoortunnels. Naast de hoogte van de blootstelling zullen de potentiële risico's in belangrijke mate afhankelijk zijn van de aanwezige componenten in het fijnstof. Sommige stoffen kunnen meer relevant zijn voor de ene vorm van blootstelling dan voor de andere. Een belangrijke eerste stap in dit project is daarom om duidelijkheid te krijgen over de mogelijke samenstelling van het stof dat aanwezig is in spoortunnels. Daarbij ligt de nadruk op fijnstof maar worden in dit literatuuronderzoek ook naar andere stoffen gekeken.

Dit rapport geeft een overzicht van de beschikbare informatie, zowel afkomstig van rapporten over dit onderwerp (de zogenaamde grijze literatuur), als wetenschappelijke en technische literatuur. Op basis daarvan worden conclusies getrokken over de samenstelling van fijnstof in Nederlandse spoortunnels. Dit levert essentiële input voor de vraag over de mogelijke gezondheidsrisico's die daarmee samenhangen. De risicovraag zal echter pas later in dit project kunnen worden beantwoord, wanneer er ook informatie beschikbaar is over de hoogte van de blootstelling bij de verschillende werkzaamheden in de tunnels. Dit rapport richt zich uitsluitend op het vraagstuk van de mogelijke samenstelling van het stof.

1.2 Vraagstellingen

In dit rapport wordt op de volgende vragen antwoord gegeven:

- Welke bronnen zijn verantwoordelijk voor aanwezigheid van fijnstof in despoortunnels?
- Welke stoffen kunnen op grond daarvan in het fijnstof in spoortunnel aanwezig zijn?

1.3 Opzet onderzoek

Om deze vragen te beoordelen is gezocht naar de beschikbare informatie over de samenstelling van stof in spoortunnels. Hierbij zijn de volgende categorieën van informatie bekeken:

- Rapporten over dit onderwerp uitgebracht in zowel Nederland als in het buitenland;
- Technische en wetenschappelijke literatuur over de samenstelling van stof en aanwezigheid daarvan in spoortunnels;
- Informatie over mogelijke bronnen van het fijnstof.

Er zijn hiervoor rapporten opgevraagd bij ProRail en het expert team dat betrokken is bij dit project. Daarnaast is literatuuronderzoek verricht via Google Scholar en PubMed. In het rapport wordt literatuur over stof in verkeerstunnels of tunnelbakken (zoals bij de HSL) niet meegenomen. Ook is niet meegenomen de blootstelling aan de stoffen die vrijkomen tijdens het uitvoeren van de

werkzaamheden zelf (bijvoorbeeld boren of schilderen in de tunnel, lassen, emissies door dieselmotoren in de tunnel).

Er is in eerste instantie gekeken naar informatie over de Nederlandse situatie, omdat die rechtstreeks betrekking heeft op de primaire vraagstelling van het project. Vervolgens is gekeken naar buitenlandse bronnen en wetenschappelijke onderzoek, met name in hoeverre hieruit een vergelijkbaar beeld naar voren komt, of aanvullende informatie oplevert. Bij de interpretatie van buitenlandse bronnen en onderzoek moet worden gerealiseerd dat de situatie afwijkend kan zijn van de Nederlandse. Steeds moet de vraag worden gesteld welke bevindingen al dan niet relevant zijn voor de Nederlandse situatie.

Componenten die alleen in sporenconcentraties aanwezig zijn in het stof of in een bron, zijn gezondheidskundig doorgaans niet relevant bij beroepsmatige blootstelling. Daarom is het van belang een grens te trekken welke concentraties van componenten relevant zijn in het kader van dit vraagstuk. Gekozen is om aan te sluiten bij de systematiek die voor zeer zorgwekkende stoffen in afvalstromen is vastgesteld voor concentratiegrenswaarden [35]. Tenzij anders aangegeven worden componenten vermeld als de concentratie in het stof of in de bron groter is dan 1000 mg/kg (0,1%), of hoger is dan de grenswaarde voor bodemverontreiniging (CROW). Als er sprake is van luchtmonsters worden de resultaten getoetst aan de grenswaarden voor deze stoffen voor blootstelling door inademing.

1.4 Indeling rapport

In hoofdstuk 2 wordt eerst een overzicht gegeven van de beschikbare Nederlandse informatie en rapporten. In hoofdstuk 3 wordt daarna een overzicht gegevens van buitenlandse informatie aangevuld met wat hierover in de technische en wetenschappelijke literatuur is beschreven. Andere relevante informatie wordt behandeld in hoofdstuk 4. De rapportage wordt afgesloten in hoofdstuk 5 met een integraal beeld over de samenstelling en bronnen van het fijnstof in spoortunnels.

2. Nederlandse informatie

In Nederland zijn meerdere onderzoeken uitgevoerd naar de samenstelling en bronnen van het fijnstof in spoortunnels [1,2,3,4,5,6,7,8,9].

2.1 Fijnstof aan de buitenzijde van treinen

De NS geeft in 2020 in een mail een overzicht van bronnen en het soort stoffen die verantwoordelijk zijn voor het fijnstof van de buitenkant van hun treinen [8] (zie tabel 1). Deze informatie wordt door ons gezien als een goede indicatie van stoffen die ook kunnen worden aangetroffen in een spoortunnel.

Tabel 1: overzicht van bronnen en soort stoffen van fijnstof aan de buitenzijde van treinen [9]

Bron	Soort stof afkomstig van deze bron
Slijtagemateriaal van spoorwielen/spoorstaven/remschijven	IJzerstof
Slijtagemateriaal van remblokken	Niet nader gespecificeerd
Vergruisd ballastmateriaal	Zand/silicaten
Slijtagemateriaal van bovenleiding en koolsleepstukken ¹	Koper
Slijtagemateriaal van koolsleepstukken ¹	Koolstof
Insecten	Biologisch materiaal van insecten (voornamelijk op de voorzijde van de trein)
Open toiletsystemen	Menselijke fecaliën, inclusief toiletpapier
	Incidenteel olie en vetten

In de rapporten over de blootstelling aan fijnstof op het station Schiphol [5,7] werden dezelfde bronnen aangegeven (zie ook §2.2). Door analyse van de componenten in zowel luchtmonsters als in bronmateriaal (remblokken, remschijven, rails, wielen, bovenleiding/pantograaf en veegstof uit een kabelgoot) kon worden vastgesteld dat het merendeel (85%) van de het fijnstof in de Schipholtunnel afkomstig is van aan trein gerelateerde emissiebronnen. De overige 15% zijn zout/bodem/bouwstof, organisch materiaal en roet.

Belangrijk is het om hierbij onderscheid te maken tussen fijnstof dat afkomstig is van de treinen en fijnstof dat afkomstig is vanuit de omgeving. Zo wordt de aanwezigheid van roet in de Schipholtunnel vooral verklaard door de uitstoot van verbrandingsmotoren (o.a. koolstof) van het verkeer buiten de tunnel. De aanwezigheid van insecten aan de voorzijde heeft primair niets van doen met tunnels en zal niet leiden tot relevante verontreiniging van stof in de tunnels.

2.2 Aard van de stoffen in Nederlandse tunnels

Er is een aantal onderzoeken [1,3,4,6] uitgevoerd in spoortunnels, waarbij onderzoek is gedaan naar de verdere samenstelling van het stof. Hierbij gaat het om chemische analyse van stofmonsters. Op het station Schiphol [3] gaat het om een analyse van stof- en materiaalmonsters en in de tunnels in het traject zee-Zevenaar om materiaalmonsters [1,6] en luchtmonsters [4]. In tabel 2 is een overzicht gegeven van de resultaten.

¹ Een koolsleepstuk is boven op een stroomafnemer (pantograaf) gemonteerd en dient voor de geleiding en contact van de stroomafnemer met de bovenleiding. Een koolsleepstuk bevat voornamelijk koper en koolstof.

Tabel 2: overzicht van geanalyseerde componenten in stofmonsters genomen in tunnels in twee Nederlandse tunnels [3,6]

	Aangetoond in Schiphol tunnel (gehalte in stof niet bepaald)	Aangetoond in traject zee-Zevenaar (gehalte in stof > 0,1%)
Aluminium (Al)		X(0,9%)
Koper (Cu)	X	X
IJzer (Fe)		X (14%)
Zink (Zn)		X (0,2%)
Magnesium (Mg)		X
Kwarts (SiO ₂)	X	X
Minerale olie		X
Roet *)	X	

*) TNO geeft aan dat deze component vooral afkomstig is van bronnen buiten de tunnel

Draaistellen van treinen verzamelen veel stof tijdens het rijden. Bij het demonteren ervan komt dit stof in de lucht. De samenstelling van dit stof is geanalyseerd in luchtmonsters die zijn genomen tijdens het demonteren van deze draaistellen [9]. Door de aard van het onderzoek kan geen precies beeld gegeven worden van de concentraties van de diverse componenten in de vervuiling of de bronnen die daarvoor verantwoordelijk zijn. Wel kan op basis van de luchtmonsters een indicatie worden gegeven van de relevante componenten. Zo bestaat een kwart tot de helft van het stof in de lucht uit ijzer en worden structureel mangaan, zink en koper aangetroffen.

Zoals in paragraaf 2.1 aangegeven kon door analyse van de componenten in zowel luchtmonsters als in bronmateriaal (remblokken, remschijven, rails, wielen, pantograaf en veegstof uit een kabelgoot) in het onderzoek naar het fijnstof van de Schipholtunnel worden vastgesteld dat het merendeel (85%) van het fijnstof afkomstig is van aan trein gerelateerde emissiebronnen. In de tabel zijn de relevante componenten genoemd. De overige 15% zijn zout/bodem/bouwstof, organisch materiaal en roet. In luchtmonsters van de Schipholtunnel die zijn geanalyseerd op vluchtige organische koolwaterstoffen werden zeer lage concentraties gedetecteerd. De aanwezigheid van deze stoffen konden worden herleid tot reizigers en verkeer buiten de tunnel.

In het onderzoek naar de concentratie fijnstof in een stationaire meting tijdens een pilotproject voor het schoonmaken van ballastbed [4] wordt in het fijnstof een beperkt aantal PAK's net boven de detectiegrens aangetoond. De concentratie in het stof is ruim onder de 0,1% ([totaal stof] = 320 µg/m³) en ruim onder de grenswaarden voor beroepsmatige blootstelling aan die stoffen in de lucht.

Van aangetoonde metalen is de concentratie ijzer in het luchtmonster 47 µg/m³ (= 15% van het aanwezige fijnstof) en die van aluminium 4,4 µg/m³ (= 1,4 % van het aanwezige fijnstof). Van de andere metalen (barium, chroom, koper en zink) is de concentratie in het stof ruim onder de 0,1% en ruim onder de grenswaarden voor blootstelling aan die stoffen in de lucht.

Bij indicatieve metingen naar het gedrag van fijnstof in twee spoortunnels in het traject zee-Zevenaar [7] is niet gekeken naar de samenstelling van het stof in de lucht.

Van een pilotproject in de Willems-spoortunnel, waarbij in beide buizen enkele kilometers spoorstaven werden vervangen, zijn de materiaal- en persoonsgebonden luchtmonsters opgeslagen zodat deze op een later tijdstip kunnen worden geanalyseerd naar de relevante componenten.

3. Buitenlandse informatie, technische en wetenschappelijke informatie

3.1 Bronnen van fijnstof in buitenland

Er zijn verschillende artikelen (populair en wetenschappelijk) waarin bronnen van verontreinigingen in spoortunnels worden genoemd (zie kader). Hierbij is primair gekeken naar informatie over treintunnels, maar secundair ook naar metrotunnels omdat deze enigszins vergelijkbaar zijn met treintunnels.

Ten opzichte van de Nederlandse gegevens worden de volgende nieuwe bronnen genoemd (zie ook het kader hieronder):

- afgevalen lading;
- uitlaatgassen van dieselmotoren van locomotieven en andere voertuigen die worden gebruikt in tunnels.

Kader 1 Overzicht bronnen in buitenlandse literatuur

Treintunnels

- In een overzicht "Rail operations. Encyclopaedia of occupational health and safety" uit 1998 van de ILO [15] wordt aangegeven dat personeel dat is betrokken bij spooronderhoud in het algemeen onder andere wordt blootgesteld wordt aan stoffen uit uitlaatgassen, stof van ballast, afgevalen lading en achtergebleven bouwstoffen;
- In een Zwitsers overzichtsartikel [21] wordt de mate van fijnstof door bepaalde bronnen gekoppeld aan tunnelkarakteristieken, met name de helling van de tunnel en het noodzakelijke gebruik van remsystemen zouden bepalend zijn voor de hoeveelheid en samenstelling van het fijnstof. Als belangrijkste bronnen voor de emissie van stofdeeltjes worden remmen, slijtage van rails, wielen en de bovenleidingen genoemd. In het overzicht is ingeschat dat deze bijdrage door personenvervoer iets hoger is dan die van vrachtvervoer;
- Een Franse studie uit 2016 [16] wijst op de slijtage van remmen, remschoenen, stroomafnemers, wielen en spoorstaven als voornaamste oorzaak van emissie van fijnstof door treinen;
- In een Zweeds onderzoek in spoortunnels [24] is meer specifiek gekeken naar de remsystemen. In bijlage A is een overzicht overgenomen van de analyse van 3 soorten remvoeringen. Dit doet vermoeden dat de stoffen die vrijkomen deels afhankelijk zal zijn van de toegepaste remvoering. Als bronnen voor fijnstof van tunnels worden remmen, wielen, bovenleiding en de pantograaf (stroomafnemer) genoemd.

Metrotunnels

- In een wetenschappelijk review van meer dan 160 onderzoeken naar de luchtkwaliteit in metrostellen en tunnels [31] concluderen de onderzoekers dat het fijnstof voornamelijk afkomstig is van emissie van rails, wielen, stroomafnemers, remsystemen en buitenlucht.
- Onderzoek in de metro in Londen [28] vond dat de ultrafijne deeltjes voornamelijk afkomstig waren van buiten de tunnels terwijl de deeltjes met een grotere diameter primair afkomstig zijn van remsystemen, wielen en rails.

Publieke opinie

- In de buitenlandse pers wordt in meerdere publicaties aandacht gevraagd voor de mogelijke gezondheidsrisico's door blootstelling aan fijnstof langs het spoor en op stations in spoor- en metrotunnels [11,12,13,14,15,18]. Als bronnen voor fijnstofemissie worden aangewezen: slijtage van remmen, wielen en spoorstaven, elektrische verbindingen en diesel-uitstoot van treinen.

3.2 Aard van de stoffen in buitenlandse trein- en metrotunnels

Er zijn diverse onderzoeken uitgevoerd naar de samenstelling van fijnstof afkomstig van treinen en/of van fijnstof in de lucht in metro- en treintunnels. In tabel 3 is hiervan een overzicht gegeven.

Tabel 3. Overzicht samenstelling fijnstof in buitenlandse trein- en metrotunnels.

Publicatie	Belangrijkste componenten	Overig
In een Zwitserse studie [18] werd de bijdrage van de emissie van fijnstof door treinen onderzocht aan de totale belasting van fijnstof	Voornamelijk ijzer (in de vorm van ijzeroxide)	Aantoonbaar waren ook koper, mangaan en chroom. Slijtage van ballastmateriaal (calcium, aluminium, magnesium of natrium) was niet aantoonbaar in de luchtmonsters.
Abbasi, overzichtsartikel [19] 10 studies over fijnstof in metrotunnels	Voornamelijk ijzer (gehalte tot 71%).	Daarnaast koolstof, calcium, koper en kwarts.
Onderzoek in Seoul naar de bronnen en karakteristieken van fijnstof in metrotunnels [22]	Ijzeroxides (wiel-rails-remmen en pantograaf contacten), koperdeeltjes (door slijtage van de bovenleiding)	Verder werden calciumcarbonaat en kwarts aangetroffen.
Onderzoek naar fijnstof in spoortunnels in Zweden [23]	Ijzer en elementair koolstof	Sporen chroom, nikkel, koper, zink en kwarts gevonden.
Onderzoek in de metro in Londen [24]	Fijnstof bestaat voor zo'n 40% uit ijzer in zowel de deeltjes met een grotere diameter als de fijnere deeltjes.	Ook werden koper, chroom, mangaan en zink in detecteerbare hoeveelheden aangetroffen.
Onderzoek naar de samenstelling van fijnstof in metrotunnels in Barcelona [25]	Ijzer	Chroom, mangaan en zink
Onderzoek naar de samenstelling van fijnstof in metrotunnels in Rome [26]	Ijzer en kwarts (van het noodremsysteem).	Organische componenten en vezels aangetroffen

3.3 Samenstelling van treingebonden bronmateriaal

Uit §3.1. en §3.2 komt naar voren dat slijtage van remsystemen en wielen een belangrijke factor zijn in het fijnstof van tunnels. In het onderzoek naar fijnstof in tunnels [26] is ook onderzocht wat de samenstelling is van verschillende soorten remsystemen (bijlage A) en wielen (bijlage B).

Het type remsysteem is bepalend voor het vrijkomen van bepaalde stoffen. In tabel 4 zijn die componenten met een concentratie > 0,1% opgenomen voor drie verschillende remsystemen.

Tabel 4. Overzicht samenstelling 3 soorten remsystemen

Element	Becorit	Gesinterd	Composiet
	Concentratie aanwezige componenten (%)		
Aluminium	3,0		
Barium	0,7		

Element	Becorit	Gesinterd	Composiet
	Concentratie aanwezige componenten (%)		
Calcium	3,9		2,4
Chroom		0,2	
Koper	0,4	84,7	0,6
IJzer	22,7	2,0	
Kalium	2,3		
Magnesium	35,1		
Natrium	0,2		
Silicium	5,3	0,2	0,5
Titanium	0,3		
Zink	0,3	0,1	
Fosfor	0,4		1,7
Zwavel	24,9		0,2
Zirkonium	0,3		
Koolstof		12,4	93,1
Totaal	99,6	99,6	98,5

Uit de verschillen in de samenstelling van de drie systemen blijkt het toegepaste remsysteem van invloed kan zijn op de componenten die als fijnstof kunnen vrijkomen. Zo zal er bij remsystemen vergelijkbaar met Becorit relatief veel ijzer, magnesium en zwavel als fijnstof vrijkomen. Bij remsystemen op basis van een gesinterde samenstelling zullen koper en koolstof de dominante componenten zijn die vrijkomen en bij composiet remsystemen koolstof.

In tabel 5 wordt een overzicht gegeven van de samenstelling van twee soorten wielen (R8T en W.T. Superior), waarbij alleen componenten zijn opgenomen met een concentratie > 0,1%.

Tabel 5. Overzicht samenstelling 2 soorten wielen

Element	R8T	W.T. Superior
	Concentratie aanwezige componenten (%)	
Koolstof	0,6	0,5
Mangaan	0,8	1
Chroom	0,3	0,2
Nikkel	0,3	0,2
Koper	0,3	0,2
Silicium	0,4	1
Chroom+Molybdeen+Nikkel	0,5	
IJzer	96,6	96,7

Uit dit overzicht blijkt dat ijzer verreweg de belangrijkste component is van de wielen en dat alle andere componenten verhoudingsgewijs in veel kleinere hoeveelheden aanwezig zijn. Dit zal ook gelden voor het fijnstof dat zal vrijkomen bij de slijtage van de wielen.

4. Andere bronnen van fijnstof

Naast treingebonden bronnen worden in de literatuur nog twee andere mogelijke oorzaken van fijnstof genoemd, namelijk afgevalen lading en schuimvormende blusmiddelen.

4.1 Lading

Uit de literatuur blijkt dat afgevalen lading een belangrijke bron voor fijnstof in tunnels kan zijn. In tabel 6 wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste goederenstromen die in Nederland per trein worden vervoerd [32]. In 2017 is in Nederland circa 42 miljoen ton goederen over het spoor getransporteerd. Vanuit veiligheidsoogpunt wordt de meest gevaarlijke lading over het tracé zee-Zevenaar vervoerd [33]. Het overgrote van die gevaarlijke lading wordt in gesloten containers of (tank)wagons vervoerd.

Tabel 6. Overzicht goederenvervoer per spoor in Nederland (2017)

Soort lading	Soort wagon	Percentage totaal (%)	Miljoen ton
Containers	Dicht	43%	18,1
Kolen	Open	17%	7,1
Ertsen	Open	14%	5,9
Natte bulk	Dicht	11%	4,6
Staal	Dicht	7%	2,9
Droge bulk	Dicht	6%	2,5
Overig	Dicht	2%	0,8

Transport van goederen in open wagons zijn de belangrijkste veroorzakers van afgevalen lading. Uit het overzicht blijkt dat dit kolen en ertsen zullen zijn. De andere goederen stromen worden (gezien de aard van de goederen) in containers, tanks of afgesloten wagons vervoerd. Naast mogelijke blootstelling aan de materialen van de specifieke lading zijn kolen en ertsen kwartshoudend en kunnen dus blootstelling aan kwartsverbindingen veroorzaken. Op dit moment is er geen inzicht in de verhouding van ertsen in het vervoer over het spoor. In gesprekken wordt gewezen naar vervoer van ijzererts.

4.2. Schuimvormende blusmiddelen

Het Expertisecentrum PFAS heeft in een onderzoek naar de toepassingen van Poly- en PerFluor Alkyl Stoffen (PFAS) gevonden dat diverse van deze stoffen in schuimvormende blusmiddelen worden toegepast [31]. Met name in de grote installaties voor brandbeveiliging van gebouwen en industriële bouwwerken. Deze systemen worden in Nederland ook in spoortunnels toegepast. Het in Nederland toegepaste fluorhoudende schuimvormende middel bevatten tot 5% aan PFAS [31,34]. Het bijmengpercentage van 3% betekent dat de eindconcentratie aan PFAS in het blusschuim maximaal 0,15 % zal zijn en mogelijk relevant als bron. De andere componenten van het schuimvormende middel zijn voor dit rapport niet relevant.

Verontreiniging door PFAS in een tunnel kan optreden bij:

- De bestrijding van een calamiteit waar het blussysteem met een PFAS bevattend schuimmiddel wordt ingezet;
- Een oefening van de hulpdiensten waarbij een PFAS bevattend schuimmiddel wordt gebruikt;
- Een storing in het brandblussysteem waardoor een tunnel wordt volgespoten met PFAS bevattend blusschuim.

5. Samenvattend

5.1 Soorten bronnen

Uit de verschillende onderzoeken komt naar voren dat het aanwezige fijnstof in spoortunnels voornamelijk afkomstig is van treingebonden systemen. Het fijnstof ontstaat door slijtage van wielen, spoorrails, stroomafnemers, bovenleiding en remsystemen. Andere belangrijke bronnen van stof zijn ballast, achtergebleven bouwstof en bronnen van buiten de tunnel.

In spoortunnels met goederenvervoer zal afgevalen lading ook een bron van fijnstof kunnen zijn. Wat betreft blootstelling aan stoffen uit afgevalen lading hangt het af van de manier waarop goederen worden vervoerd. Met name die producten die in open wagons worden getransporteerd zijn daarbij van belang. In Nederland zijn dat transporten met steenkool en ertsen (in het bijzonder ijzererts).

In tunnels met personenvervoer is mogelijk menselijke faeces met daarin biologische agentia vanuit open toiletsystemen aanwezig.

In tunnels waarin schuimvormende blusmiddelen zijn toegepast kan mogelijk PFAS in het stof aanwezig zijn.

In tunnels wordt ook fijnstof en vluchtige organische koolwaterstoffen van buiten de tunnel aangetroffen zoals roet van uitlaatgassen van automotoren. Dit fijnstof kan ook voorkomen door het gebruik van verbrandingsmotoren in de tunnel (bijvoorbeeld voertuigen en/of aggregaten). In 1 onderzoek zijn slechts enkele PAK's in zeer lage concentraties aangetoond [6].

5.2 Soorten stoffen/componenten

Gezien de aard van de bronnen, de samenstelling van deze bronnen, de resultaten van metingen in tunnels, en informatie over verontreinigingen op treinstellen zijn er drie groepen stoffen te verwachten die procentueel in zodanige hoeveelheden voorkomen dat ze relevant zijn in het kader van gezondheidsrisico's bij beroepsmatige blootstelling, namelijk:

- Metalen (met name ijzer en koper en in veel minder grote concentraties aluminium, barium, chroom, fosfor, magnesium, mangaan, nikkel en zink);
- Kwarts;
- Koolstof.

Aanbevolen wordt om bij het inschatten van blootstelling en gezondheidsrisico's bij werkzaamheden in tunnels de hierboven vermelde stoffen mee te nemen in de meet- en analysestrategie.

Er bestaan verschillende bronnen van koolstof. Afhankelijk van de bron is dat steenkoolstof (afkomstig van steenkooltransporten), roet (afkomstig van brandstoffen) en koolstof (als elementair bestanddeel van bepaalde onderdelen). Koolstof uit deze bronnen zullen in luchtmonsters geanalyseerd worden als elementair koolstof.

PAK's lijken vanuit de literatuur geen risico. Ze zijn in één onderzoek in Nederland [6] in lage concentraties aangetoond. Om de relevantie vast te stellen wordt in het vervolgonderzoek middels extra metingen van deze groep stoffen meegenomen.

Van zwavel is niet duidelijk in welke vorm dit vrij komt en in het stof aanwezig kan zijn en daardoor relevant is voor de gezondheidsrisico's. Daarom wordt in het vervolgonderzoek te onderzocht of zwavel in het stof kan worden aangetoond om te kunnen beoordelen of deze stof relevant is voor het bepalen van het gezondheidsrisico door beroepsmatige blootstelling.

Er zijn een paar andere metalen aangetoond in bronmateriaal (remsystemen en wielen) zoals kalium, natrium, titanium en zirkonium. Deze worden echter niet relevant geacht omdat deze in geen enkele stof- of luchtmonsters in detecteerbare hoeveelheden zijn aangetroffen. Ditzelfde geldt voor zwavel, mogelijk omdat deze vrij komt in de vorm van zwaveloxides.

Er worden ook geen hoge concentraties vluchtige organische koolwaterstoffen in het stof aangetroffen. Dit geldt eveneens voor minerale olie die slechts sporadisch wordt aangetroffen.

Calcium is wel aangetoond, maar vergeleken met de eerder genoemde metalen, kwarts en koolstof, heeft calcium een veel lagere potentie om gezondheidsklachten te veroorzaken en wordt om deze reden gezondheidskundig als niet relevant beschouwd [36]. Een risicoanalyse en beheersmaatregelen die gericht zal zijn op metalen, kwarts en koolstof, zal in alle gevallen ook de eventuele risico's van calcium ondervangen.

Daar waar toegepast kunnen PFAS in het stof aanwezig zijn. PFAS is een persistente stof en daarom een zorgwekkende stof voor accumulatie in het milieu. De gezondheidskundige relevantie bij beroepsmatige blootstelling lijkt laag, zo bestaan er geen gezondheidskundige grenswaarden voor blootstelling in het beroep [31].

5.3 Gezondheidsrisico's

Deze rapportage geeft aan welke stoffen relevant kunnen zijn voor de nadere analyse van de gezondheidsrisico's van het werken in spoortunnels. Dit zijn metalen (ijzer, koper, aluminium, barium, chroom, magnesium, mangaan, nikkel, zink en het niet metaal fosfor), kwarts en koolstof.

Aan hand van de inventarisatie van de taken met daaraan gekoppeld de relevante blootstellingsmomenten aan fijnstof, waar mogelijk aangevuld met metingen van de blootstelling, kan begonnen worden met het maken van een inschatting van het gezondheidsrisico. Dat is de volgende stap in het project.

Gebruikte bronnen en literatuur

1. Sam Oosterink. *Analyse van een stofmonster dat genomen is in de Sophiatunnel bij Zwijndrecht*. Grondmij Zwolle/Preventie Werk, 8 oktober 2013.
2. Karin Verkuijlen en Daphne Doekemeijer. *Blootstellingonderzoek luchtkwaliteit werkplekatmosfeer reguliere onderhoudswerkzaamheden tunnels*. Arbo Unie, 22 oktober 2014.
3. 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.
4. 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 Milieuvadvis BV, 2 februari 2010 en rectificatie op 17 april 2020.
5. C.A.C. Bulkman & W.J.T van Alphen. *Onderzoek blootstelling aan fijnstof & geluid, Station Schiphol Airport*. MUOPO Inventive Consultancy, 16 januari 2020.
6. C.P. van de Dool. *Overzicht onderzoeksresultaten betreft tunnels Betuweroute A-15 tracé. Toetsing regeling bodemkwaliteit*. Agel; 22-5-2018.
7. Optitrans: *Indicatieve metingen naar de concentratie fijnstof (PM2.5) in de Sophiatunnel (17 t/m 24-11-2019) en Botlektunnel (15 t/m 18-12-2019)*; gemeten met SNDWay SW 625A monitor.
8. NS. *Email met componenten en bronnen voor fijnstof/stof aan buitenzijde materieel*. 1 mei 2020.
9. RPS. *Email met componenten in luchtmonsters bij demontage van draaistellen van treinen*. 12 mei 2020.
10. 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.
11. S.V. *Doppelter Tagesgrenzwert: soviel feinstaub atmen sie in der U-bahn ein*. Focus online 17-09-2018.
12. B. Schwan. *Ist U-bahn-fahren gesund?* Technology review. 5-2-2019.
13. S. Noggler. *Lärm und staub bei bahnarbeiten zwischen Kramsach und Wiesing*. Meinbezirk.at 27-07-2017.
14. A. Joeres. *Unterirdisch schlechte luft. Die Luft in U-Bahnen ist stark mit Feinstaub belastet. In Frankreich klagen deshalb die Lokführer auf strengere Grenzwerte. Ihre deutschen Kollegen haben andere Sorgen*. Zeit online 23-04-2019.
15. N. McManus. *Rail operations*. Encyclopaedia of occupational health and safety – Fourth edition volume III. International Labour Office. Pagina 102.33 – 102.39.
16. P. Clément. *SNCF preliminary study on wear particles emitted by a freight train*. 13th UIC Sustainability Conference. Vienna 2016.
17. Anoniem. *Is the air in underground subways harming our health*. Railway technology 24-07-2013.
18. R. Gehrig, M. Hill, P. Lieneman, CN. Zwicky, N. Buwkowiecky, E. Weingartner. U. Baltenberger en B. Buchmann. *Contribution of railway traffic to local PM10 concentrations in Switzerland*. Atmospheric Environment 41 (2007) 923-933.
19. S. Abbasi, A. Jansson, U. Olofsson en U. Sellgren. *Particle emissions from rail traffic: A literature review*. Critical reviews in Environmental Science and Technology, 43:23, 2511-2544(2013).
20. M. Loxham en M.J. Nieuwenhuijsen. *Health effects of particulate matter air pollution in underground railway systems – a critical review of the evidence*. Particle and fibre toxicology 16:12 (2019).
21. R. Lassy, B. Hagenah, J. Radler en D. Guth. *Staub in Bahntunneln: Ursachen, Risiken und Gegenmaßnahmen*. Forschung + Praxis: 44 STUVA-Tagung 1- 7 (2011).
22. Y. Lee, Y-C. Lee, T. Kim, J.s. Choi en D. Park. *Sources and characteristics of particulate matter in subway tunnels in Seoul, Korea*. Int J Environ Res Public Health. 15(11): 2534. (2018).

23. M. Gustafson, S. Abbasi, G. Blomqvist, 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.
24. M. Loxam, M.J. Cooper, M.e. Gerlofs-Nijland, F.R. Cassee, D. E. Davies, M.R. Palmer en D.A.H. Teagle. *Physiochemical characterization of airborne particulate matter at a mainline underground railway station*. *Environmental Science & Technology* 47, 3614 -3622 (2013).
25. V. Martins, T. Moreno, M. Cruz Minguillón, F. Amato, E de Miguel, M. Capdevilla en X. Querol. *Exposure to airborne particulate matter in the subway system*. *Science of the Total Environment* 511, 711-722 (2015).
26. G. Rippanucci, M. Grana, L. Vincenti, A. Magrini en A. Bergamaschi. *Dust in the underground railway tunnels of an Italian town*. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 3, 16-25 (2006).
27. Seaton, J. cherrie, M. Dennekamp, K. Donaldson, J.F. Hurley en C.L. Tran. *The London underground: dust and hazards to health*. *Occup Environ Med* 62, 355-362 (2005).
28. A.M. Spagnolo, G. Ottria, F. Perdelli en M.L. Cristina. *Chemical Characterisation of the Coarse and Fine Particulate Matter in the Environment of an Underground Railway System: Cytotoxic Effects and Oxidative Stress—A Preliminary Study*. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 12, 4031 – 4046(2015).
29. S-H. Woo, J.B. Kim, G-N. Bae, M.S. Hwang, G.H. Tahk, H.H. Yoon, S-B. Kwon, D. Park en S-J. Yook. *Size-dependent characteristics of diurnal particle concentration variation in an underground subway tunnel*. *Environ Monit Assess* 190: 740, 1-14 (2018).
30. B. Xu en J. Hao. *Air quality inside subway metro indoor environment worldwide: A review*. *Environment International* 107, 33-46 (2017).
31. T. Pancras, E. van Bentum en H. Slenders. *Poly- en PerFluor Alkyl Stoffen (PFAS). Kennisdocument over stoffeigenschappen, gebruik, toxicologie, onderzoek en sanering van PFAS in grond en grondwater*. Expertisecentrum PFAS, 20-24 (20-06-2018)
32. Prorail. *Spoorgoederenvervoer*. <https://www.prorail.nl/spoorgoederenvervoer/goederen-over-het-spoor-in-nederland-en-daarbuiten>. Bezocht 1 juli 2020.
33. Prorail. *Spoorgoederenvervoer*. <https://www.prorail.nl/spoorgoederenvervoer/veilig-goederenvervoer>. Bezocht 1 juli 2020.
34. Solberg Scandinavian AS – Norway. *Safety Data Sheet ARTIC FOAM 603EF ATC™ 3%-3%*. Versie 28-01-2007.
35. P.N.H. Wassenaar, L.c. van Leeuwen en R.J. Luit. *Concentratiegrenswaarde voor ZZS in afvalstromen*. RIVM, DOI 10.21945/RIVM-2017-099 (2017).
36. Federatie Medische Specialisten. *Calcium en vitamine D bij osteoporose*. https://richtlijndatabase.nl/richtlijn/osteoporose_en_fractuurpreventie/calcium_en_vitamine_d_bij_osteoporose.html. Bezocht 13 juli 2020.

Bijlage A. Samenstelling verschillende elementen van remmen.

Table 4. Brake pad element compositions. %TS = % total solid content.

Element	Brake material (mg/kg)			Brake material (%TS)		
	Becorit	Sintered	Composite	Becorit	Sintered	Composite
Ag	0.696	7.96	0.116	0.0004	0.0011	0.0001
Al	5480	210	16.6	2.9749	0.0288	0.0120
As	57.1	2.51	<0.2	0.0310	0.0003	0.0001
B	21	9.35	7.95	0.0114	0.0013	0.0058
Ba	1270	1.54	2.43	0.6894	0.0002	0.0018
Be	<0.5	<0.3	<0.3	0.0003	0.0000	0.0002
Bi	1.76	0.926	<0.005	0.0010	0.0001	0.0000
Ca	7190	481	3270	3.9032	0.0660	2.3735
Cd	0.515	<0.01	0.143	0.0003	0.0000	0.0001
Co	31.3	9.84	0.12	0.0170	0.0014	0.0001
Cr	36.2	1450	0.587	0.0197	0.1990	0.0004
Cu	767	617000	865	0.4164	84.6607	0.6278
Fe	41800	14900	47.9	22.6919	2.0445	0.0348
K	4170	103	116	2.2638	0.0141	0.0842
Li	2.07	0.34	0.309	0.0011	0.0000	0.0002
Mg	64600	225	133	35.0694	0.0309	0.0965
Mn	142	103	8.12	0.0771	0.0141	0.0059
Mo	8.08	11.7	0.569	0.0044	0.0016	0.0004
Na	404	86.2	72.9	0.2193	0.0118	0.0529
Ni	27.3	152	2.14	0.0148	0.0209	0.0016
Pb	88.7	0.408	0.345	0.0482	0.0001	0.0003
Rb	40.7	0.405	0.48	0.0221	0.0001	0.0003
Sb	41.3	1.21	0.0568	0.0224	0.0002	0.0000
Se	10.6	0.0896	0.166	0.0058	0.0000	0.0001
Si	9830	1080	625	5.3364	0.1482	0.4536
Sr	147	1	2.81	0.0798	0.0001	0.0020
Th	2.58	<0.02	<0.02	0.0014	0.0000	0.0000
Ti	490	25	1.59	0.2660	0.0034	0.0012
Tl	0.523	<0.05	0.058	0.0003	0.0000	0.0000
U	1.86	0.0149	0.0074	0.0010	0.0000	0.0000
V	13.2	14	4.32	0.0072	0.0019	0.0031
Zn	461	775	91.7	0.2503	0.1063	0.0666
P	661	268	2320	0.3588	0.0368	1.6839
S	45900	43.8	317	24.9177	0.0060	0.2301
Zr	508	0.282	0.164	0.2758	0.0000	0.0001
Hg	0.342	<0.03	<0.03	0.0002	0.0000	0.0000
C		12.4	93.1	0	12.4	93.1
N		<0.10	1.06	0	0.1	1.06
H		<0.10	<0.10	0	0.1	0.1

Bron [23]

Beschrijving

Railroad vehicle brakes consist of a variety of brake discs and pads with different elemental compositions. There are three main groups of brake pads; metallic, composite and sintered. Examples of analyses of these three types can be seen in Table 4. The compositions are very different. While Becorit is mainly consist of Mg, S and Fe, the sintered type is dominated by Cu, while the composite type is mainly C.

Bijlage B. Samenstelling van verschillende wielen

Table 5. Wheel material relative composition (%) (Saeed Abbasi, KTH).

Element	R8T	W.T. Superior	W.T. Superior mean
C	0.56	0.52–0.56	0.54
S	0.035	0.006	0.006
P	0.035	0.015	0.015
Mn	0.8	0.9–1.1	1
Cr	0.3	0.2	0.2
Ni	0.3	0.2	0.2
Mo	0.08	0.08	0.08
Cu	0.3	0.15	0.15
Si	0.4	0.9–1.1	1
V	0.05	0.08	0.08
Cr+Mo+Ni	0.5	–	–
Fe	96.64		96.73

Bron [23]

Beschrijving

Wheel material consists of iron (Fe) to over 96 %. Carbon, chromium, nickel, copper and silica are the main trace elements (Table 5). The R8t material is common in wheels for commuter trains, while W.T. is common in wheels for locomotive driven train sets.