

Energy & Materials TransitionPrincetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrechtwww.tno.nlT +31 88 866 42 56
F +31 88 866 44 75**TNO-rapport****TNO 2023 R10784****Onderzoek naar blootstelling aan inhaleerbaar
stof, respirabel stof en respirabel kwartsstof
tijdens handelingen met ballast - Fase 2 & 3**

Datum	21 december 2023
Auteur(s)	P.C. Tromp, J.C. Esveld, S. Spaan, T.V.P. Maarschalkerweerd, M.M. Moerman, J.P. Lollinga, L.B. van Doorn, L. Thijssen, M. Diks, T.J. Korstanje
Reviewer	W. Fransman
Aantal pagina's	90 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	3
Opdrachtgever	ProRail B.V.
Projectnaam	Stofonderzoek ballast - Fase 2 & 3
Projectnummer	060.47523

Alle rechten voorbehouden.

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

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2023 TNO

Samenvatting

Inleiding

Bij het vervaardigen, transporteren en verwerken van spoorwegballast (hierna ballast) ontstaat (kwarts)stof. Op basis van eerdere onderzoeken die door verscheidene partijen in opdracht van ProRail zijn uitgevoerd, is vastgesteld dat de wettelijke grenswaarde voor respirabel kwartsstof ($75 \mu\text{g}/\text{m}^3$) overschreden kan worden wanneer er bij (bepaalde) werkzaamheden geen beheersmaatregelen worden genomen. In juni 2019 heeft ProRail aan TNO gevraagd om vast te stellen welke risico's verschillende gesteenten en verschillende handelingen met ballast hebben voor de gezondheid van de betrokken werknemers en personen die zich in de omgeving bevinden (bijvoorbeeld omstanders of passanten).

Dit onderzoek is onderdeel van een groter onderzoekstraject dat bestaat uit 4 fasen, waarbij Fase 1 (Stof en schadelijke componenten tijdens handelingen met ballast) en Fase 4 (Grenswaarden fijnstof in spoortunnels) reeds zijn uitgevoerd en gerapporteerd. De onderhavige rapportage betreft:

- Fase 2: Uniforme meetmethode;
- Fase 3: Effect van transport met ballast en blootstelling tijdens handelingen met ballast.

Doelstelling

Voor het in kaart brengen van de blootstellingsrisico's bij de activiteiten met het ballastmateriaal is behoefte aan een eenduidige uniforme meetmethode voor toetsing aan geldende grenswaarden. Voor Fase 2 van dit onderzoek zijn daarom de volgende doelen gesteld:

1. Evaluatie van de gebruikte meetmethoden die zijn toegepast in eerdere kwartsstof-gerelateerde onderzoeken voor ProRail;
2. Het opstellen van een uniforme meetmethode ten behoeve van het meten van inhaleerbaar en respirabel stof en respirabel kwartsstof.¹

In Fase 1 van dit onderzoek (Tromp, 2021) zijn in een experimentele opstelling stationaire stofmetingen uitgevoerd tijdens het simuleren van activiteiten met verschillende gesteenten. Deze simulatiemetingen zijn later nogmaals uitgevoerd met meerdere (andere) typen gesteenten, waaronder kwartsloze ballast (Esveld & Tromp, 2023). Om de resultaten van de simulatiemetingen te kunnen relateren aan de mate van emissie tijdens transport en onderhoudsactiviteiten, zijn aanvullend metingen in de praktijk uitgevoerd met het kwartsmicrodioriet uit Quenast tijdens handelingen vanaf de steengroeve tot in het spoor. Naar aanleiding van de resultaten in Fase 1 zijn voor Fase 3 van dit onderzoek de volgende doelen gesteld:

3. Het effect van transport en handelingen op het stofgehalte en de stofemissie van ballast;
4. Bepaling van de persoonlijke blootstelling aan inhaleerbaar en respirabel stof en respirabel kwartsstof van werknemers die zijn betrokken bij de verwerking van ballast.

¹ Stof dat door de neus of de mond wordt ingeademd heet inhaleerbaar stof. Als het stof vervolgens ook tot in de longblaasjes door kan dringen spreken we van respirabel stof.

De gesteenten uit Quenast en Bremanger zijn de aan ProRail meest geleverde ballast van de afgelopen jaren. Voor de derde doelstelling is daarom, in aanvulling op Fase 1 van het onderzoek, waarin de cyclus “van groeve tot in het spoor” met het kwartsmicrodioriet vanuit Quenast is bemeten, specifiek aandacht besteed aan het metazandsteen-gesteente uit Bremanger. De handelingen met het metazandsteen worden ook gebruikt voor de vierde doelstelling, aangevuld met onderhoudsactiviteiten met andere type gesteenten.

In dit rapport wordt de mate van blootstelling van werknemers aan het spoor aan inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwartsstof beoordeeld conform de NEN-EN 689.

Uitvoering onderzoek

Evaluatie meetmethoden en opstellen uniforme meetmethode

Er zijn tien onderzoeksrapporten naar de emissie van en blootstelling aan (respirabel) kwartsstof uit de periode 1994 – 2018 beoordeeld op toegepaste meetstrategie, gebruikte meettechnieken en analysemethoden en blootstellingsberekeningen. Voor het huidige blootstellingsonderzoek is een uniforme meetmethode ontwikkeld met richtlijnen voor het meten van inhaleerbaar en respirabel stof en respirabel kwartsstof.

Stationaire en persoonsgebonden metingen tijdens handelingen met ballast

Gebruikmakend van de in Fase 2 ontwikkelde uniforme meetmethode zijn op diverse locaties in 2021 (Amsterdam, Zutphen, Alkmaar, Barneveld en Lunteren) en 2022 (Amersfoort, Culemborg, Eindhoven, Heerlen, Hengelo, Maastricht, Oldenzaal en Ruurlo) bij transport, overslag en spooronderhoudswerkzaamheden met ballast blootstellingsmetingen verricht. In 2021 betrof het zowel stationaire als persoonsgebonden metingen bij diverse kleinschalige en grootschalige werkzaamheden, met speciale aandacht voor het metazandsteengesteente uit Bremanger. In 2022 zijn alleen persoonsgebonden metingen uitgevoerd, waarbij de nadruk lag op grootschalige onderhoudswerkzaamheden (met naar verwachting de hoogste mate van blootstelling), zoals het lossen in de baan, stoppen, profileren en het kettinghorren. Kleinschalige werkzaamheden, zoals onder andere het lossen van big bags en/of 'kubels', het verdichten met een trilplaat ('wacker') en activiteiten met een borstelmaschine en ballastzuiger/losser zijn niet bemeten in dit onderzoek.

Stationaire metingen dichtbij de stofvormende bron/activiteit geven inzicht in de bronnen van blootstelling voor werknemers (worst-case). De persoonsgebonden metingen maken een realistische inschatting van de mate van blootstelling mogelijk. De resultaten van de persoonsgebonden metingen zijn gebruikt voor toetsing aan de grenswaarden conform de NEN-EN 689. De resultaten van de stationaire metingen zijn gebruikt om inzicht te verkrijgen in de mate van stofemissie en het effect van emissiebeperkende maatregelen bij diverse activiteiten met spooronderhoudsmachines (ballastwagons, kettinghor, stopmachine en profileermachine).

Alle metingen zijn verricht bij droog weer en matige wind zonder vorst; dit zijn weersomstandigheden waarbij de stofemissie en blootstelling in potentie het hoogst zijn, waardoor de resultaten van de blootstellingsmetingen als realistische worst-case

kunnen worden gezien. In aanvulling op Fase 1, waarbij handelingen met het kwartsmicrodioriet uit Quenast zijn bemeten, zijn in Fase 3 activiteiten met meerdere typen gesteente bemeten, waaronder het metazandsteen-gesteente uit Bremanger, kwartsloos basaniet uit Nickenich en gerecyclede ballast. Tijdens de bemeten activiteiten zijn vrijwel altijd emissiebeperkende maatregelen toegepast door middel van bevochtiging van de ballast en/of het ballastbed via sproei- en/of vernevelsystemen.

Belangrijkste resultaten en conclusies

Evaluatie meetmethoden en opstellen uniforme meetmethode

Veel van de eerder uitgevoerde onderzoeken voldoen niet aan de criteria van de huidige NEN-EN 689. Vooral voor verkennend blootstellingsonderzoek met een beperkt aantal metingen, zoals de meeste van deze onderzoeken, geldt in de huidige NEN-EN 689 een strikte beoordelingssystematiek. Dit houdt in dat het aantal metingen onvoldoende is om de resultaten van eerdere onderzoeken volgens de huidige beoordelingssystematiek te kunnen toetsen aan de grenswaarden.

Het gehalte aan respirabel kwartsstof is binnen de diverse studies op verschillende manieren bepaald; infrarood (FTIR) en röntgendiffractie (XRD) zijn de enige technieken die hiervoor gebruikt kunnen worden. Extrapolatie van het kwartsgehalte in de ballast naar de concentratie kwarts in respirabel stof geeft een duidelijke overschatting van de blootstelling aan respirabel kwartsstof en wordt daarom afgeraden. Bij veel van de onderzoeken ontbreekt een volledige beschrijving van omstandigheden en factoren die van invloed zijn op de stofemissie en blootstelling, zoals activiteit, afstand en positie tot de emissiebron, vochtigheid en stofpercentage van de ballast, emissiebeperkende maatregelen en weersomstandigheden.

In de opgestelde meetmethode is een uniforme en robuuste meet- en analysesystematiek uitgewerkt en zijn alle relevante omstandigheden en factoren beschreven waardoor toetsing aan geldende publieke dan wel private grenswaarden conform NEN-EN 689 mogelijk is.

Effect van transport, overslag en overige handelingen op de stofemissie

De metingen met het metazandsteen-gesteente uit Bremanger bevestigen het beeld van de resultaten in Fase 1 met het kwartsmicrodioriet. Ook hier blijkt dat het stofgehalte (fractie < 63 µm) per opeenvolgende handeling toeneemt. Nadat de ballast is gelost in de baan werd geen toename meer waargenomen bij de verdere spooronderhoudsactiviteiten. De metingen laten tevens zien dat de stofconcentraties, inclusief respirabel kwartsstof, bij dezelfde handelingen met metazandsteenballast lager zijn dan voor kwartsmicrodiorietballast. Dit is in overeenstemming met gemeten concentraties tijdens de simulatiemetingen met kwartsmicrodioriet en metazandsteen in Fase 1 van het onderzoek.

De extra overslagmomenten met de kwartsmicrodiorietballast (Fase 1) dragen duidelijk bij aan een groter stofgehalte van de ballast in de baan. Ook blijkt dat het kwartspercentage in de ballast niet samenhangt met het kwartspercentage in de gemeten respirabele fractie; er is geen duidelijk verschil tussen de percentages kwarts in respirabel stof afkomstig van metazandsteen en kwartsmicrodioriet geconstateerd, terwijl de kwartspercentages in deze twee typen gesteenten wel

verschillend zijn. Vergelijkbare resultaten zijn door middel van simulatiemetingen gevonden voor andere typen gesteenten (Esveld & Tromp, 2023).

Blootstelling tijdens handelingen met ballast

In dit rapport worden de resultaten van zowel stationaire 'worst case' als taakgerichte persoonsgebonden metingen beschreven, welke bij een verscheidenheid aan activiteiten en handelingen met ballast en bij werknemers van verschillende aannemers zijn uitgevoerd. Voor de meeste vooraf opgestelde blootstellingsgroepen zijn voldoende persoonsgebonden metingen uitgevoerd om conform de NEN-EN 689 te kunnen toetsen aan de geldende publieke (wettelijke) dan wel private (bedrijfs) grenswaarden. Bij de beoordeling is er (worst-case) van uitgegaan dat werknemers de hele werkdag bezig (kunnen) zijn met de bemeten activiteit (gemeten taakgerichte blootstelling = 8-uurs tijdgewogen gemiddelde blootstelling). Onderstaande tabel geeft de conclusies weer van de beoordeling van de taakgerichte blootstelling per activiteit en blootstellingsgroep.

Activiteit	Blootstellingsgroep ¹⁾	Beoordeling conform NEN-EN 689	Indien sprake van overschrijding, voor welke stof(fen)
Ontgraven, storten, laden & lossen	Chauffeur kraan, shovel, vrachtwagen	Voldoet ²⁾	-
Lossen FACCs	Begeleider lossen FACCs	Voldoet niet ³⁾	Alle stoffen ⁵⁾
	Losser FACCs	Voldoet niet ⁴⁾	Inhaleerbaar stof
Lossen SALT	Losser SALT - nat	Voldoet ²⁾	-
	Losser SALT - droog	Voldoet niet ⁴⁾	Alle stoffen ⁵⁾
Profileren	Uitvoerder buiten - met borstel	Voldoet niet ⁴⁾	Alle stoffen ⁵⁾
	Uitvoerder buiten - zonder borstel	Voldoet niet ⁴⁾	Alle stoffen ⁵⁾
	Uitvoerder binnen	Voldoet niet ³⁾	Alle stoffen ⁵⁾
Stoppen	Uitvoerder buiten	Voldoet ²⁾	-
	Uitvoerder binnen	Voldoet niet ³⁾	Inhaleerbaar stof
	Maatvoerder	Voldoet ²⁾	-
Kettinghorren	Worteldoek legger	Voldoet ²⁾	-
	Uitvoerder buiten	Voldoet niet ⁴⁾	Inhaleerbaar stof en respirabel kwarts
	Uitvoerder binnen	Voldoet niet ³⁾	Alle stoffen ⁵⁾
Diversen	Begeleider buitendienst-gesteld spoor (BBD'er)	Voldoet ²⁾	-
	Machinist	Voldoet ²⁾	-
	Werkers naastgelegen spoor	Voldoet ²⁾	-

1) Dikgedrukt weergegeven de maatgevende blootstellingsgroep(en) per activiteit. Dit wil zeggen de blootstellingsgroep(en) met de hoogste verwachte mate van blootstelling binnen een activiteit.

2) Voldoet conform de NEN-EN 689: gemeten blootstelling is met voldoende zekerheid onder de grenswaarden.

- 3) Voldoet niet o.b.v. indicatieve toets (<6 metingen): overschrijding één of meerdere grenswaarden op basis van indicatieve toetsing, gemeten blootstelling ligt wel onder de grenswaarde(n) maar te weinig metingen voor statistische toetsing conform NEN-EN 689.
- 4) Voldoet niet: gemeten blootstelling overschrijdt één of meerdere grenswaarden.
- 5) Alle stoffen betreft hier inhaleerbaar stof, respirabel stof, en respirabel kwartsstof.

Uit de beoordeling volgt dat de blootstelling binnen de activiteiten 'Ontgraven, storten, laden & lossen' en 'Diversen' voldoet aan de grenswaarden conform NEN-EN 689. Binnen de activiteiten 'Lossen FACCs', 'Lossen SALT', 'Profileren', 'Stoppen' en 'Kettinghorren' echter voldoet de blootstelling voor sommige blootstellingsgroepen niet aan één of meerdere grenswaarden conform NEN-EN 689. Hier zijn aanvullende maatregelen noodzakelijk om de mate van blootstelling van de werknemers te voorkomen danwel zoveel mogelijk te beperken. Voor de activiteit 'Stoppen' wordt alleen voor de 'Uitvoerder binnen' niet voldaan aan de grenswaarde voor inhaleerbaar stof. Hierbij dient te worden opgemerkt dat in geval van blootstelling aan kankerverwekkende stoffen, zoals respirabel kwartsstof, aanvullende eisen² en voorschriften³ gelden, bijvoorbeeld gericht op het voorkomen dan wel terugbrengen tot een zo laag mogelijk niveau onder de grenswaarde van blootstelling.

Voor sommige blootstellingsgroepen wordt niet voldaan aan de grenswaarde(n) op basis van een indicatieve toetsing conform NEN-EN 689. Dit houdt in dat op basis van het beperkte aantal metingen dat beschikbaar is niet met voldoende zekerheid gesteld kan worden dat de grenswaarde(n) niet word(t)(en) overschreden, maar de gemeten concentraties onder de grenswaarde(n) zelf liggen. Voor deze blootstellingsgroepen zouden meer metingen uitgevoerd moeten worden om de gemeten concentraties op basis van een statistische toetsing te kunnen vergelijken met de grenswaarde.

Taakgerichte blootstelling vs blootstelling gedurende een werkdag

De in dit onderzoek gepresenteerde resultaten zijn gebaseerd op taakgerichte metingen. Om te komen van deze taakgerichte blootstelling tot een representatieve daggemiddelde blootstelling (8-uurs tijdgewogen gemiddelde, 8-uurs TGG) is per functiegroep informatie nodig over het bijbehorende blootstellingsprofiel: de duur, frequentie en (eventuele) combinatie van diverse spooronderhoudswerkzaamheden op een werkdag. Het samenstellen van de verschillende blootstellingsprofielen dient door spooraanemers zelf te worden uitgevoerd. Op basis van de in dit rapport gepresenteerde meetresultaten en de door de aannemer vastgestelde blootstellingsprofielen kan voor een groep werknemers met eenzelfde blootstellingsprofiel (dat wil zeggen Similar Exposure Group (SEG) volgens NEN-EN 689) bepaald worden of de daggemiddelde blootstelling met voldoende zekerheid beneden de geldende publieke dan wel private grenswaarden ligt.

Inschatting blootstelling kleinschalige werkzaamheden

De mate van blootstelling tijdens kleinschalige werkzaamheden is voor zover mogelijk ingeschat op basis van de meetresultaten van vergelijkbare grootschalige werkzaamheden (proxy activiteiten). Op basis hiervan wordt geen hoge blootstelling

² Wat zegt de wet over kankerverwekkende en mutagene stoffen? | Kankerverwekkende en mutagene stoffen | Arboportaal

³ Arbeidsomstandighedenbesluit, hoofdstuk 4 (Gevaarlijke stoffen en biologische agentia), afdeling 2 (Aanvullende voorschriften kankerverwekkende of mutagene stoffen en kankerverwekkende processen), artikelen 4.11 t/m 4.24.

verwacht voor het lossen met een big bag, 'kubel' of ballast container, het verdichten met trilplaat ('wacker'), het gebruik van een ballastzuiger/losser en voor uitvoerders buiten nabij conventioneel ontgraven, storten, laden & lossen, mits de ballast voldoende wordt bevochtigd. Voor het wegvegen van overtollig ballast in het spoor met een borstelmachine (vergelijkbaar met het profileren) kan een hoge blootstelling niet worden uitgesloten.

Effect van bronmaatregelen op de stofemissie

Het is niet mogelijk gebleken om voor alle handelingen de uitvoering hiervan ook met droge ballast als 'baseline scenario' te bemeten, waardoor in veel gevallen kwantitatieve gegevens over de effectiviteit van individuele maatregelen ontbreken. Een belangrijke reden hiervoor is dat tijdens het onderzoek de aannemers veel nadruk hebben gelegd op het zoveel mogelijk beperken van de stofemissie door middel van bevochtigen van de ballast en/of het ballastbed. Het is niet bekend of de in dit onderzoek getroffen emissiebeperkende maatregelen bij iedere spooraanemer en ieder onderhoudstraject standaard worden toegepast. Wel blijkt duidelijk dat bevochtigen als beheersmaatregel bij activiteiten met ballast essentieel is om de stofemissie te beperken. Dit zou bij iedere spooraanemer dan ook de dagelijkse praktijk moeten zijn.

Aanbevelingen om blootstelling te verminderen

Op basis van de resultaten van dit blootstellingsonderzoek doet TNO de volgende aanbevelingen om de blootstelling van werknemers tijdens spoorwerkzaamheden met ballast te verminderen. Hierbij is rekening gehouden met de volgorde van de arbeidshygiënische strategie (zie de punten 1 – 4 hieronder), waarbij maatregelen van een zo hoog mogelijk niveau (zo dicht mogelijk bij de bron) moeten worden getroffen. Voor werken met kankerverwekkende en mutagene stoffen (zoals respirabel kwartstof (kristallijn silica)) gelden tevens extra wettelijke eisen en voorschriften.

1. Bronmaatregelen: vervangen gevaarlijke stoffen

- Gebruik van kwartsvrije gesteenten om de blootstelling aan respirabel kwarts te voorkomen.
- Gebruik van ballast met minder stofvorming:
 - Gebruik van typen gesteenten met lage stofvormende eigenschappen.
 - Gebruik van ballast met een zo laag mogelijk percentage breekstof (fines) door middel van wassen op de productielocaties of voorafgaand aan gebruik in de spoorbaan, en/of het aantal handelingen met het ballastmateriaal tijdens transport te beperken.

2. Technische maatregelen, werkprocessen, uitrustingen en materialen

- Technische innovaties om de vorming en/of verspreiding van stof tijdens spoorwerkzaamheden te verminderen:
 - Toepassen van technieken op spooronderhoudsmachines om de vorming van stof bij de bron te verminderen, het stof af te vangen en/of de verspreiding van stof tegen te gaan (afscherming).
 - Toevoegen van additieven aan de ballast om aanhechtend breekstof te binden zodat stofvorming wordt gereduceerd.

- Betere (meer effectieve) bevochtiging van de ballast voorafgaand en/of tijdens de spoorwerkzaamheden om verspreiding van stof te verminderen:
 - Gebruik van (innovatieve) sproeitechnieken om een meer uniforme en volledige bevochtiging van de ballast te bewerkstelligen.
 - Verbeteren van de betrouwbaarheid van bestaande bevochtigingstechnieken.

3. *Collectieve of organisatorische maatregelen*

- Meer en/of beter toezicht tijdens het bevochtigen om direct actie te kunnen ondernemen wanneer de bevochtiging niet afdoende is.
 - Visuele inspectie tijdens het bevochtigen in combinatie met een duidelijk protocol hoe te handelen wanneer het bevochtigen niet afdoende is (bijvoorbeeld stilleggen werkzaamheden).
 - Real-time detectie van stofemissie met behulp van sensoren als indicatie van de effectiviteit van de bevochtiging, met ingebouwd alarm wanneer de stofemissie boven een bepaald niveau komt.
- Beperken van de mate van blootstelling van uitvoerders/werknemers buiten tijdens spooronderhoudswerkzaamheden:
 - Inzet van ander (alternatief) materieel waarbij minder stofvorming optreedt, minder personeel nodig is en/of personeel zich verder van de bron bevindt.
 - Aanpassen werkprocedures met als doel om blootstellingsmomenten (werkzaamheden dicht bij de bron) te minimaliseren.
 - Blootstelling in de cabines van spooronderhoudsmachines beperken door:
 - a) overdruk en luchtfilters toe te passen, b) deuren en ramen gesloten te houden, c) cabines en filters regelmatig schoon te maken cq te vervangen.

4. *Persoonlijke beschermingsmiddelen*

- Als geen van de bovenstaande beheersmaatregelen technisch mogelijk is, dan kunnen persoonlijke beschermingsmiddelen gebruikt worden om de persoonlijke blootstelling te minimaliseren. Het is in dat geval aan te bevelen om beter toezicht te houden op het dragen van adembescherming bij uitvoerders/werknemers buiten op momenten dat stofvorming niet kan worden voorkomen.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding en doelstelling.....	10
2	Plan van aanpak.....	12
2.1	Evaluatie meetmethoden en opstellen uniforme meetmethode (Fase 2).....	12
2.2	Stationaire metingen tijdens activiteiten met metazandsteen ballast (Fase 3A).....	12
2.3	Persoonsgebonden metingen tijdens activiteiten met ballast (Fase 3B).....	13
3	Evaluatie eerdere meetmethoden en ontwikkeling uniforme meetmethode... 15	
4	Uitvoering metingen en beoordeling mate van blootstelling.....	27
4.1	Meetstrategie	27
4.2	Blootstellingsfactoren	27
4.3	Blootstellingsgroepen	28
4.4	Meet- en analysemethoden	30
4.5	Uitvoering metingen.....	31
4.6	Toetsing aan grenswaarden	31
4.7	Grenswaarden inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwartsstof	32
5	Resultaten stationaire en persoonsgebonden metingen	35
5.1	Overzicht verzamelde metingen tijdens activiteiten met ballast.....	35
5.2	Effect van transport en handeling op het stofgehalte van ballast en stofemissie ...	42
5.3	Persoonlijke blootstelling werknemers betrokken bij verwerking van ballast.....	50
6	Conclusies.....	67
6.1	Fase 2: Evaluatie eerdere meetmethoden en opstellen uniforme meetmethode ...	67
6.2	Fase 3: Stationaire en persoonlijke metingen tijdens handelingen met ballast	67
7	Aanbevelingen	70
8	Referenties	72
9	Ondertekening	74
	Bijlage A: Uniform meetprotocol.....	75
	Bijlage B: Beeldmateriaal	79
	Bijlage C: Gedetailleerde meetresultaten	84

1 Inleiding en doelstelling

Bij het vervaardigen, transporteren en verwerken van ballast in het spoor ontstaat stof. Op basis van de resultaten van meerdere metingen is vastgesteld dat wanneer bij bepaalde werkzaamheden geen beheersmaatregelen worden toegepast de wettelijke grenswaarde voor respirabel kwartsstof ($75 \mu\text{g}/\text{m}^3$) kan worden overschreden. De te nemen mitigerende maatregelen om de gezondheid van het personeel te garanderen zijn meerdere malen vastgesteld (onderzoek ProRail 1993 en 1998, onderzoek SAS 2010 en onderzoek Swietelsky 2017-2018). Deze maatregelen worden in de praktijk echter niet altijd toegepast. Naar aanleiding van de hierboven genoemde problematiek inzake stofvorming (respirabel kwartsstof) is er bij ProRail (AM Civiele Techniek) behoefte aan meer duidelijkheid over de mate van stofvorming bij handelingen met ballast.

In juni 2019 heeft ProRail aan TNO gevraagd om vast te stellen welke blootstellingsrisico's verschillende gesteenten en handelingen met ballast hebben in relatie tot de gezondheid van de betrokken werknemers en personen die zich in de omgeving bevinden (bijvoorbeeld omstanders of passanten). Dit onderzoek is onderdeel van een groter onderzoekstraject dat bestaat uit 4 fasen, waarbij Fase 1 (Stof en schadelijke componenten tijdens handelingen met ballast; Tromp, 2021; Esveld & Tromp, 2023) en Fase 4 (Grenswaarden voor blootstelling aan fijnstof in spoortunnels; van Balen *et al.*, 2020a) reeds zijn uitgevoerd. De onderhavige rapportage betreft:

- Fase 2 (Uniforme meetmethode);
- Fase 3 (Effect van transport met ballast en blootstelling tijdens handelingen met ballast).

Het algemene doel van het totale onderzoek (Fase 1 t/m 4) is om vast te stellen welke risico's verschillende gesteenten en verschillende handelingen hebben voor de gezondheid, zowel voor de verwerkers van ballast als personen in de omgeving van de werkzaamheden bevinden.

Voor Fase 2 en Fase 3 van het onderzoek zijn de volgende vier onderzoeksdoelstellingen gedefinieerd:

1. *Evaluatie van gebruikte meetmethoden die zijn toegepast in eerdere kwartsstof-gerelateerde onderzoeken voor ProRail (Fase 2);*
2. *Het opstellen van een uniforme meetmethode ten behoeve van het meten van inhaleerbaar en respirabel stof en respirabel kwartsstof (Fase 2);*
3. *Het effect van het transport (wagon, schip, vrachtwagen) en handelingen (laden/lossen/verwerken) op het stofgehalte van de ballast en de stofemissie (Fase 3A);*
4. *Bepaling van de persoonlijke blootstelling aan inhaleerbaar en respirabel stof en respirabel kwartsstof van werknemers die zijn betrokken bij de verwerking van ballast (Fase 3B).*

Voor de laatste twee doelstellingen is in aanvulling op Fase 1 van het onderzoek, waarin de cyclus "van groeve tot in de baan" met het kwartsmicrodioriet vanuit Quenast is bemeten, het werken met andere typen gesteente in de praktijk getest, waaronder kwartsloze ballast, gerecyclede ballast en het metazandsteengesteente uit Bremanger. Voor de derde doelstelling is specifiek het gesteente uit Bremanger

bemeten, dit gesteente is niet alleen qua samenstelling verschillend, maar de transportcyclus verloopt ook anders. Daarnaast is dit type gesteente de afgelopen jaren, samen met het kwartsmicrodioriet uit Quenast, het meest geleverd aan ProRail. Op deze manier is een overzicht verkregen van het effect van het transportproces op het stofgehalte van ballast en de stofemissie.

Voor dit onderzoek zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

1. De op te zetten uniforme meetmethode voor inhaleerbaar en respirabel stof en respirabel kwartsstof moet éénduidig en robuust zijn, zodat deze ook tijdens toekomstig onderzoek (en door externe partijen) kan worden toegepast.
2. In het kader van vergelijkbaarheid van meetresultaten dienen de emissiemetingen tijdens de activiteiten op dezelfde wijze en onder dezelfde omstandigheden te worden uitgevoerd als de metingen in Fase 1 van het onderzoek.
3. De blootstellingsmetingen van inhaleerbaar en respirabel stof en respirabel kwartsstof tijdens de activiteiten dienen zodanig te worden uitgevoerd dat toetsing aan grenswaarden conform NEN-EN 689 mogelijk is.
4. Het type ballast en de conditie van de ballast, zoals het vochtgehalte, dient te worden meegenomen bij de bepaling van de persoonlijke blootstelling aan inhaleerbaar en respirabel stof en respirabel kwartsstof.

2 Plan van aanpak

2.1 Evaluatie meetmethoden en opstellen uniforme meetmethode (Fase 2)

Voor het in kaart brengen van de blootstellingsrisico's bij de activiteiten met het ballastmateriaal is een eenduidige uniforme meetmethode opgesteld ten behoeve van het meten van inhaleerbaar en respirabel stof en respirabel kwartsstof (zie Bijlage A: Uniform meetprotocol). Hierin is de meetstrategie, de te bemeten stoffen, de toe te passen meettechnieken, berekeningsmethoden, en interpretatie van de resultaten beschreven. Doelstelling was het opstellen van een standaard meetprotocol dat alle facetten behandelt om tot een taakgerichte persoonlijke blootstelling te komen voor medewerkers die zich bezighouden met het toepassen van ballastmateriaal. Hiertoe is een inventarisatie gemaakt van de diverse taken/werkzaamheden die worden uitgevoerd met het ballastmateriaal (blootstellingsscenario's). Als onderdeel van bovenstaand meetprotocol is een evaluatie uitgevoerd van de gebruikte meetstrategieën en -technieken, analysemethoden en berekeningsmethoden van reeds uitgevoerde onderzoeken bij ProRail tijdens het storten van ballast. Hierbij is specifiek gekeken naar de toepasbaarheid van de meetmethoden voor toetsing aan geldende grenswaarden.

2.2 Stationaire metingen tijdens activiteiten met metazandsteen ballast (Fase 3A)

In navolging op de metingen tijdens activiteiten met het kwartsmicrodioriet uit Quenast, zijn onder vergelijkbare omstandigheden metingen uitgevoerd met het metazandsteen gesteente uit Bremanger. De metingen zijn uitgevoerd conform de in Fase 2 vastgestelde uniforme meetmethode. De onderstaande transporthandelingen en activiteiten zijn geselecteerd om te bemeten:

- Beladen van een schip en vrachtwagens bij de leverancier in Amsterdam;
- Overladen ballast vanuit een schip en vrachtwagens in RailPro wagons;
- Storten van ballast in het spoor vanuit SALT wagons (RailPro) met en zonder sproeien;
- Verdichten en profileren ballastbed met de stop- en profileermachine met en zonder voorafgaand besproeien van het ballastbed.

De metingen tijdens het beladen en overladen van transportmiddelen zijn uitgevoerd terwijl emissiebeperkende maatregelen werden toegepast. Tijdens het storten van ballast in het spoor is zowel zonder (door haperend sproeisysteem) als met besproeien van de ballast bij de SALT wagons gemeten. Ook zijn metingen uitgevoerd in situaties waarin de ballast voorafgaand aan het lossen (extra) is besproeid.

Om een goede indruk te krijgen van het effect van transport per wagon op de hoeveelheid stofvorming en breekstof is een traject gekozen waarbij de afstand van de overslaglocatie (vanuit het schip of de vrachtwagens in de SALT wagons) tot het baanvak (waarin de ballast gestort wordt) relatief groot is (Zutphen), maar waarbij deze afstand nog steeds relevant is voor de dagelijkse praktijk.

Een beladen wagon kan gedurende langere tijd (tot enkele weken) 'in de wacht' staan voordat de ballast in het spoor wordt gestort. Dit creëert (bij droog weer) extra stof,

aangezien het water waarmee de ballast is bevochtigd gedurende de tijd opdroogt en de ballast dus minder vochtig is. Een dergelijke situatie zal waarschijnlijk weinig voorkomen, gezien de extra kosten die daarmee gemoeid zijn, maar bij voorkeur worden wel situaties bemeten waarbij de wagons gedurende een iets langere periode (enkele dagen) 'in de wacht' staan. Een dergelijke situatie kan als een realistische 'worst-case' situatie worden gezien. In dit onderzoek zaten er enkele dagen tussen het beladen van de wagons en het lossen.

Stationaire metingen zijn in duplo benedenwinds nabij het stortfront uitgevoerd. De metingen zijn op dezelfde wijze en onder vergelijkbare weersomstandigheden uitgevoerd als Fase 1 van het onderzoek met het kwartsmicrodioriet uit Quenast, zodat de meetresultaten onderling kunnen worden vergeleken. De volgende parameters zijn hierbij meegenomen:

- hoogte van de metingen en afstand tot het stortfront of stofvormende handeling (ca.1 meter afstand);
- positie van de metingen ten opzichte van het stortfront, rekening houdend met de windrichting (benedenwinds gemeten);
- duur van de metingen rekening houdend met de hoeveelheid gestort materiaal per tijdsperiode;
- weersomstandigheden voorafgaand en tijdens de metingen: droog weer, geen vorst, matige wind (voorafgaand aan de meting is een periode van drie droge dagen aangehouden om ervoor te zorgen dat de ballast zo droog mogelijk is).

De stationaire metingen zijn gebruikt ter indicatie van de bronnen van blootstelling bij werknemers, conform de 'reasonable worst-case' systematiek uit de NEN-EN 689. Voor de daadwerkelijke toetsing aan de grenswaarden zijn uitsluitend de resultaten van de persoonsgebonden metingen aangehouden. Tijdens of direct na de metingen is een representatief monster van het ballastmateriaal genomen ter bepaling van het stofgehalte en de vochtigheidsgraad. Deze informatie is gebruikt om meer inzicht te krijgen in de resultaten van de stationaire metingen bij diverse opeenvolgende handelingen, evenals het kunnen beoordelen van de effectiviteit van de bevochtigingsmethode(n).

2.3 Persoonsgebonden metingen tijdens activiteiten met ballast (Fase 3B)

Persoonsgebonden metingen zijn uitgevoerd bij de medewerkers die direct en indirect betrokken waren bij de activiteiten. Deze metingen zijn in de ademzone van medewerkers uitgevoerd, om een realistische inschatting van de mate van blootstelling te kunnen bepalen. De ontwikkelde meetstrategie maakt het mogelijk om de meetresultaten te kunnen toetsen aan de grenswaarden conform de systematiek beschreven in de NEN-EN 689.

De persoonsgebonden metingen zijn uitgevoerd bij zoveel mogelijk (grootschalige) onderhoudsactiviteiten met oude (gerecyclede) ballast en nieuwe ballast afkomstig van diverse steengroeven (Tau, Jelsa, Bremanger, Quenast, Nickenich), zoals:

- Kettinghorren (ontgraven, zeven en terugstorten van ballast in de baan);
- Storten ballast in de baan met FACCS en SALT wagons;
- Verdichten en profileren ballastbed met verschillende typen stop- en profileermachines;

- Conventioneel ontgraven, storten en profileren van de onderbaan met shovels, krollen en vrachtwagens.

Net zoals bij de stationaire metingen zijn de persoonsgebonden metingen voornamelijk uitgevoerd terwijl emissiebeperkende maatregelen werden toegepast. Daarnaast zijn metingen uitgevoerd in situaties waarin de ballast of het ballastbed extra is nat gemaakt. Zo werd bij het lossen met FACCS wagons ook gemeten in situaties waarbij de ballast in de wagons extra werd besproeid, en zijn bij de kettinghor, stopmachine en profileermachine metingen uitgevoerd na het besproeien van het ballastbed.

De persoonsgebonden metingen zijn aangevuld met 'stationaire' metingen dichtbij de emissiebron. De resultaten van deze stationaire metingen zijn gebruikt om de maximale mate van blootstelling van werknemers te schatten.

Tijdens handelingen met ballast is het stof- en vochtgehalte van de ballast bepalend voor de emissie van inhaleerbaar en respirabel stof en zijn daarmee belangrijke factoren voor de mate van blootstelling. Ook het type ballast is van invloed op de mate van stofemissie, zoals is onderzocht met behulp van simulatiemetingen die naast dit onderzoek zijn uitgevoerd (Esveld & Tromp, 2023). Bij de persoonsgebonden metingen tijdens de genoemde onderhoudsactiviteiten is in de meeste gevallen het type ballast bekend. Echter, door de grote variatie in typen ballast en de continu wisselende omstandigheden tijdens onderhoudsactiviteiten is bij de dataverwerking geen onderscheid gemaakt naar type ballast. Het vochtgehalte van de ballast is bepaald door tijdens of direct na de metingen een representatief monster van het ballastmateriaal te nemen. Deze informatie is gebruikt om de effectiviteit van de bevochtigingsmethode(n) te kunnen beoordelen.

3 Evaluatie eerdere meetmethoden en ontwikkeling uniforme meetmethode

Door TNO zijn alle op dit moment in Nederland beschikbare onderzoeksrapporten op gebied van (kwarts)stof bij spoorwerkzaamheden beoordeeld op toegepaste meetstrategie, gebruikte meettechnieken en analysemethoden en berekeningsmethoden. Deze onderzoeken zijn in de periode 1994-2018 uitgevoerd, en betreffen hoofdzakelijk onderzoeken die door/voor ProRail of spooraannemers zijn uitgevoerd:

1. Arcadis Bouw/Infra. Onderzoek naar de concentratie respirabel kwarts tijdens het lossen van basalt, porfier en gneis, 1999.
2. Buro Blauw. Onderzoek arbeidsomstandigheden onderhoud spoorwegen – blootstelling aan respirabel stof en kwarts, december 2010.
3. NS Technisch onderzoek. Voorbereidend onderzoek naar een praktisch bruikbare methode voor het meten van de stof- en kwartsconcentratie in de lucht bij het lossen van ballast, 1994.
4. NS Technisch Onderzoek. Resultaten van stof- en kwartsconcentratie metingen in de lucht bij het lossen van basalt, porfier en gneis gedurende de periode 7 juni tot en met 3 oktober 1994, oktober 1994.
5. Perseus Advies en Projecten. Stofmetingen spoorwerkzaamheden Geldermalsen, april 2018.
6. Perseus Advies en Projecten. Kwartsstofmetingen spoorwerkzaamheden Venray, augustus 2017.
7. NS Technisch Onderzoek. Een vergelijkend onderzoek naar het vrijkomen van stof bij het lossen van “gewassen” en “niet gewassen” porfier, juni 1995.
8. TNO. Bepaling concentratie respirabel kwarts tijdens het lossen van basalt, porfier en gneis, oktober 1998.
9. Arbo Advies Gorter. Kwartsbeoordeling, november 2016.
10. TNO. Onderzoek naar de emissie van en de blootstelling aan respirabel (kwarts)stof en inhaleerbaar stof bij het storten van ballastbed bij spoorrail, februari 2008.

In Tabel 1 hieronder wordt elk onderzoeksrapport op hoofdlijnen beschreven. Daarnaast wordt in Tabel 2 een overzicht gegeven van de resultaten van de in deze onderzoeken verzamelde metingen van inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwartsstof tijdens activiteiten met ballast. Deze meetresultaten zijn gebruikt voor een vergelijking met de meetresultaten zoals verzameld in dit onderzoek, onder andere met het oog op verschillen in toegepaste beheersmaatregelen (bevochtiging). De onderzoeksrapporten kenden verschillende doelstellingen:

- Beoordeling persoonlijke blootstelling (1, 2 en 6).
- Vergelijking stofvorming verschillende typen ballast (3, 4, 5 en 8).
- Beoordeling emissie reducerende maatregelen, zoals bevochtigen (9 en 10) en wassen van de ballast (7).

Alhoewel de doelstellingen verschillen van huidig onderzoek, met uitzondering van het Perseus onderzoek in 2018 (rapport 5), zijn bij alle onderzoeken taakgerichte metingen uitgevoerd tijdens stofvormende activiteiten. Het betreft zowel persoonsgebonden metingen bij medewerkers tijdens het uitvoeren van hun

werkzaamheden als 'worst-case' (emissie)metingen dichtbij de stofvormende activiteiten.

In de onderzoeken zijn diverse meet- en analysetechnieken en beoordelingsmethoden gebruikt. Over het algemeen zijn de metingen in de onderzoeken correct uitgevoerd, maar is weinig contextuele informatie (informatie over meetomstandigheden en factoren die van invloed kunnen zijn op de mate van stofvorming en -verspreiding) vastgelegd. Deze informatie is van belang voor een correcte beoordeling van de blootstelling, bijvoorbeeld om de resultaten te kunnen groeperen op basis van de omstandigheden tijdens de metingen (type ballast, stoffigheid ballast, al dan niet (extra) bevochtigen van de ballast, afstand tot de bron, etc.).

Bepaling respirabele en inhaleerbare stofniveaus

In vrijwel alle onderzoeken is de concentratie respirabel en inhaleerbaar stof bepaald met behulp van filtermetingen, waarbij de filters voor en na monsternamen zijn gewogen (gravimetrische methode).

Perseus Advies heeft in één studie de respirabele stofgehalten bepaald met stofmonitors (sensoren). Omdat de inhaleerbaar en respirabel stofgehalten zoals worden gemeten met stofmonitors niet voldoen aan de definities voor inhaleerbaar en respirabel stof conform NEN-EN 481 (NEN, 2001) kunnen deze resultaten echter niet worden getoetst aan grenswaarden. Daarnaast tellen de stofmonitors alleen deeltjes, waarna de deeltjesaantallen worden omgerekend naar een massa op basis van een standaard dichtheid van de deeltjes, waardoor het resultaat minder betrouwbaar is. Stofmonitors kunnen overigens wel worden gebruikt als complementaire techniek om de variatie in de tijd te volgen of als verkennende techniek om bepaalde 'hot spots' te identificeren.

Analyse respirabel kwartsstof

Het gehalte aan respirabel kwartsstof is binnen de verschillende studies op verschillende manieren bepaald:

- Analyse met infrarood spectrometrie (FT-IR) van alle respirabel stoffilters (Perseus (6), Buro Blauw (2));
- Analyse met röntgendiffractie (XRD) van alle respirabel stoffilters (TNO (8));
- Berekening op basis van het kwartspercentage in ballast, bepaald met XRD (Arcadis (1), NSTO (3, 4, 7));
- Analyse met FT-IR van enkele hoog beladen respirabel stoffilters en extrapolatie naar de andere respirabel stoffilters (TNO (10)).

FT-IR en XRD zijn beide geschikte technieken om het kwartsgehalte te bepalen. FT-IR heeft het voordeel van een lagere detectiegrens (1 µg per filter), maar met deze techniek kan geen trydimiet worden onderscheiden. Er wordt echter aangenomen dat dit niet van invloed is op de meetresultaten aangezien de gehalten trydimiet en cristoballiet in de ballastgesteenten verwaarloosbaar zijn ten opzichte van het gehalte kwarts. Met XRD wordt wel onderscheid gemaakt in alle kristallijne SiO₂-vormen: kwarts, cristoballiet en trydimiet. Nadeel van deze methode is dat de detectiegrens hoger ligt (5-10 µg per filter), wat vooral voor kortdurende metingen en/of situaties waar weinig (kwarts)stof aanwezig is kan leiden tot niet-detecteerbare concentraties respirabel kwartsstof (< LOD).

Naast directe analyse met FT-IR of XRD worden ook extrapolatietechnieken toegepast. Arcadis en NSTO hebben het kwartspercentage in het gesteente bepaald, en dit gebruikt om het gehalte aan kwartsstof in de respirabel stoffilters te berekenen. Uit zowel de resultaten van de simulatiemetingen (Fase 1) (Tromp, 2021) als de metingen in de praktijk waarbij werd gewerkt met kwartsmicrodioriet en metazandsteen (zie paragraaf 5.2) is echter gebleken dat er geen duidelijke relatie is tussen het percentage kwarts in ballast en het percentage kwarts in respirabel stof. Op basis van praktijkmetingen met ballastmonsters genomen tijdens overslagmomenten is voor kwartsmicrodioriet en metazandsteen het percentage kwarts in respirabel stof een factor 4-5 lager dan het percentage kwarts in de ballast. Op basis van de simulatiemetingen met de gewassen gesteenten kwartsmicrodioriet en metazandsteen bleek een nog groter verschil tussen het percentage kwarts in de ballast en het respirabel stof (8-11x lager). De lagere factor bij de praktijkmetingen heeft te maken met het hogere percentage breekstof in de ballast. Uit de resultaten van de aanvullende simulatiemetingen met andere typen gesteenten dan kwartsmicrodioriet en metazandsteen kwam een vergelijkbaar beeld naar voren (Esveld & Tromp, 2023). Daarom wordt aangenomen dat op basis van de methodiek zoals toegepast door Arcadis en NSTO de concentraties respirabel kwartsstof substantieel worden overschat.

TNO heeft de hoog beladen respirabel stoffilters bij de emissietesten met FT-IR geanalyseerd op gehalte kwartsstof en vervolgens het percentage kwartsstof in respirabel stof gebruikt om het gehalte kwartsstof in de filters van de overige persoonlijke blootstellingsmetingen te schatten. Deze methode is nauwkeuriger dan op basis van extrapolatie vanuit het kwartsgehalte in de ballast, waarbij sprake is van een overschatting. Uit de resultaten van de metingen in de praktijk waarbij werd gewerkt met kwartsmicrodioriet en metazandsteen blijkt dat er sprake is van een behoorlijk variatie in het percentage kwarts in respirabel stof (35-65%, zie paragraaf 5.2.1). Dit betekent dat bij de beoordeling van de berekende concentraties aan respirabel kwartsstof rekening moet worden gehouden met deze onnauwkeurigheid.

Beoordeling mate van blootstelling

Veel van de onderzoeken zijn niet recent uitgevoerd, waardoor bij de beoordeling van de mate van blootstelling veelal gebruik is gemaakt van verouderde versies van de NEN-EN 689. In 1995 is de eerste versie uitgebracht met een correctieblad in 2012. In 2016 is een nieuwe ontwerp-norm uitgebracht die in 2018 definitief is geworden. Daarna is in april 2019 nog een extra correctieblad toegevoegd. Omdat de aanpassingen van de NEN-EN 689 onder andere hebben geresulteerd in een striktere beoordelingssystematiek, voldoen veel van de oudere onderzoeken niet aan de criteria zoals worden gesteld in de huidige NEN-EN 689. Vooral voor verkennende blootstellingsonderzoeken waarbij een beperkt aantal metingen wordt verzameld, zoals het geval is in veel van deze onderzoeken, gelden strenge toetsingscriteria. Over het algemeen betekent dit dat er te weinig metingen (op verschillende locaties) zijn uitgevoerd om de resultaten te kunnen toetsen aan grenswaarden. Ook zijn grenswaarden ondertussen veranderd of zelfs ingetrokken (zie Hoofdstuk 4).

Afgezien van verouderde normen en grenswaarden, is op verschillende manieren aan grenswaarden getoetst:

- Directe toetsing resultaten individuele persoonsgebonden metingen;
- Directe toetsing resultaten individuele 'worst-case' (stationaire) emissiemetingen (metingen dichtbij de bron);

- Toetsing van gemiddelde waarden van individuele metingen tijdens een meetsessie;
- Toetsing na omrekening naar 8 uren tijdgewogen gemiddelde waarden (8 uren TGG).

Elk van deze methoden is in principe geschikt, maar elke methode gaat wel gepaard met specifieke voorwaarden en beperkingen (zie Hoofdstuk 4). Bij omrekening van taakgerichte meetresultaten naar 8 uren TGG waarden dient de duur en frequentie van de werkzaamheden gedurende een (representatieve) werkdag bekend te zijn. Daarnaast dient niet alleen rekening gehouden te worden met de bemeten activiteit, maar ook met andere (al dan niet stofvormende) activiteiten die de betreffende werknemer gedurende een werkdag uitvoert. Toetsing van gemiddelde waarden mag alleen als er voldoende metingen zijn uitgevoerd (> 6) als onderdeel van statistische toetsing. Bij de toetsing van de resultaten van 'worst-case' metingen dient te worden gecontroleerd of het wel een echte 'worst-case' situatie is, rekening houdend met de activiteit (onder andere stortsnelheid), afstand en positie (beneden/bovenwind) tot de bron, vochtigheid en stofpercentage van de ballast, emissiebeperkende maatregelen, weerscondities, etc. Bij veel van de onderzoeken is het onduidelijk of rekening is gehouden met bovengenoemde factoren. Daarnaast dient bij interpretatie van stationaire metingen rekening te worden gehouden met de vertaling ervan naar de situatie van de persoon (die zich beweegt en door zijn/haar gedrag de mate van blootstelling kan beïnvloeden). Op basis van bovengenoemde evaluatie is een uniforme en robuuste meetmethode ontwikkeld, welke dusdanig opgezet is dat toetsing aan grenswaarden conform NEN-EN 689 mogelijk is (zie Bijlage A: Uniform meetprotocol).

Tabel 1 Beschrijving beschikbare onderzoeksrapporten op gebied van (kwarts)stof bij spoorwerkzaamheden op hoofdlijnen

Nr.	Beschrijving onderzoeksrapport op basis van aantal parameters	
1	Onderzoeksbureau	Arcadis Bouw/Infra
	Jaartal	1999
	Meetlocatie	baanvak Ede/Veenendaal
	Meetperioden	1 meetdag, 29 – 30 mei 1994
	Werkzaamheden	Plaatselijk aanvullen ballastbed met FCCPP wagons
	Type ballast	Gneis
	Vochtgehalte ballast	Relatief nat (60% en 90% vocht)
	Weersomstandigheden	Droog, zwakke wind (24 uur voor lossen een regenbui)
	Beheersmaatregelen	Niet nader gespecificeerd
	Metingen	Inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwartsstof
	Meettechnieken	Stofmonitor voor respirabel stof (HUND) en PAS-6 filtermetingen voor inhaleerbaar stof, Cassella cyclonen voor respirabel stof
	Meetstrategie	Persoonsgebonden metingen zijn verricht op voetpad direct naast de stortkoker gedurende het lossen van ballast, waarbij zoveel mogelijk in de stofwolk is gemeten (worst-case).
	Analyses	Bepaling kwartsgehalte in ballast met XRD (standaard additie methode), omrekening % kwarts naar respirabel kwartsstof
	Blootstellingbeoordeling	Directe toetsing van enkelvoudige meetresultaten aan grenswaarde
	Oordeel onderzoek	Toetsing van resultaten aan grenswaarde niet conform huidige NEN-EN 689. Respirabel kwartsconcentraties zijn niet gemeten, maar berekend op basis van het kwartsgehalte in het ballastmateriaal.

Nr.	Beschrijving onderzoeksrapport op basis van aantal parameters	
2	Onderzoeksbureau	Buro Blauw
	Jaartal	2010
	Meetlocatie	Diverse locaties
	Meetperioden	5 meetdagen: 19 september (8 uur) en 26 september 2009 (15 uur), 25 april (7 uur), 15 juni (6 uur) en 18 oktober 2010 (13 uur)
	Werkzaamheden	Spoorvernieuwing, diverse werkzaamheden: afgraven oude ballast, storten ballast met FAS wagons, egaliseren ballastbed met shovels, storten ballast met krol, storten ballast met FCCPP wagons, stopmachine Unimat 205 (met borstelmachine aanhanger), ballast afwerk machine (met borstelbak), stopmachine 09-3X, kettinghor
	Type ballast	Niet nader gespecificeerd
	Vochtgehalte ballast	Niet nader gespecificeerd
	Weersomstandigheden	Droog weer, geen neerslag en matig wind
	Beheersmaatregelen	Niet nader gespecificeerd
	Metingen	Respirabel stof en respirabel kwartsstof
	Meettechnieken	Persoonsgebonden PVC filtermetingen met respirabele cyclonen 18 taakgerichte filtermetingen gedurende 1 – 10 uur bij werknemers met verschillende functies en taken (zie werkzaamheden). Op iedere meetdag 1 achtergrondmeting bovenwinds van de activiteiten.
	Meetstrategieën	Respirabel kwartsstof met FT-IR conform NIOSH 7602 uitgevoerd door TCKI.
	Analyses	Toetsing van resultaten op basis van gemeten waarden en 8 uur TGG aan 10% en 100% van grenswaarde conform NEN-EN 689
	Blootstellingbeoordeling	Metingen en analyses zijn op de juiste wijze uitgevoerd. Meetstrategie en blootstellingsbeoordeling is correct toegepast, echter aantal metingen zijn te beperkt om duidelijke conclusies te kunnen trekken. Type ballast per werk en het vochtgehalte van het ballast zijn niet bekend.
3 & 4	Onderzoeksbureau	NS Technische Onderzoek
	Jaartal	1994
	Meetlocatie	baanvakken Winterswijk/lievelde, Barneveld/Amersfoort, Hoevelaken/Amersfoort, emplacement Coevorden, station Utrecht, nabij onderhoudswerkplaats Amsterdam
	Meetperioden	6 meetdagen in de periode van 7 juni 1994 tot en met 3 oktober 1994
	Werkzaamheden	Lossen van ballast met FC wagons en FCCPP wagons (wanneer FCCPP achter kettinghor zit wordt onder de stortkoker een stortbak geplaatst)
	Type ballast	Kwartsmicrodioriet (Quenast), basalt (Stockum), gneiss (Noorwegen)
	Vochtgehalte ballast	Verschillend, van droog (2% vocht) tot nat (95% vocht)
	Weersomstandigheden	Veelal droog en matige wind
	Beheersmaatregelen	Niet nader gespecificeerd
	Metingen	Inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwartsstof
	Meettechnieken	Stofmonitor voor respirabel stof (HUND) en PAS-6 filtermetingen voor inhaleerbaar stof, Cassella cyclonen voor respirabel stof Persoonsgebonden metingen zijn verricht op voetpad direct naast de stortkoker gedurende het lossen van ballast, waarbij zoveel mogelijk in de stofwolk is gemeten (worst-case).
	Meetstrategie	Bepaling kwartsgehalte in ballast met XRD (standaard additie methode), omrekening % kwarts naar respirabel kwartsstof
	Analyses	Directe toetsing van enkelvoudige meetresultaten aan grenswaarde
	Blootstellingbeoordeling	

Nr.	Beschrijving onderzoeksrapport op basis van aantal parameters	
	Oordeel onderzoek	Toetsing van resultaten aan grenswaarde niet conform huidige NEN-EN 689. Respirabele kwartsconcentraties zijn niet gemeten maar berekend op basis van het kwartsgehalte in het ballast, bepaald met XRD. Metingen tijdens het lossen van de drie typen ballast zijn niet onder vergelijkbare omstandigheden uitgevoerd, waardoor resultaten lastig te interpreteren zijn.
5	Onderzoeksbureau Jaartal Meetlocatie Meetperioden Werkzaamheden Type ballast Vochtgehalte ballast Metingen Weersomstandigheden Beheersmaatregelen Meettechnieken Meetstrategie Analyses Blootstellingbeoordeling Oordeel onderzoek	Perseus Advies en Projecten 2018 Geldermalsen 6 meetdagen: 31 januari 07:46 – 5 februari 15:09 Spoorvernieuwing, werkzaamheden niet nader gespecificeerd Basalt Vochtig (afleiding op basis van weersomstandigheden) Fijnstof (respirabele stoffractie) Erg vochtig, af en toe beperkte neerslag (regen en natte sneeuw) Niet nader gespecificeerd Fijnstof handmonitoren (TSI Dusttrak 8534 DRX, TSI AM250) Twee monitoren zijn op diverse posities met tijdsintervallen van een uur op de locatie ingezet Samenstelling basalt en stof, niet nader gespecificeerd Er is geen toetsing uitgevoerd, alleen indicaties gegeven van mogelijke grenswaarde overschrijding respirabel stof Respirabel kwartsstof is niet gemeten, alleen respirabel stof met stofmonitor. Weersomstandigheden waren zeer ongunstig, de resultaten zijn dan ook niet representatief voor bredere interpretatie (ook beschreven door Perseus). Percentage breekstof basalt (1,7%) is veel hoger dan de huidige producteis van ProRail (0,5%). Werkzaamheden zijn niet nader gespecificeerd en de gemeten concentraties kunnen niet worden gerelateerd aan de werkzaamheden. Geen gravimetrische metingen uitgevoerd als validatie van de stofmonitor resultaten.
6	Onderzoeksbureau Jaartal Meetlocatie Meetperioden Werkzaamheden Type ballast Vochtgehalte ballast Weersomstandigheden Beheersmaatregelen Metingen Meettechnieken Meetstrategie Analyses Blootstellingbeoordeling	Perseus Advies en Projecten 2017 Oostrum (nabij Venray) 1 meetdag: 17 juni 0:00 – 18 juni 08:00 Spoorvernieuwing, diverse werkzaamheden: storten/schuiven ballast, stopmachine, borstelmachine Niet nader gespecificeerd Vochtig gemaakt, door vooraf besproeien Redelijk vochtig, klein beetje neerslag Besproeien met watertank en sproeisysteem van het ballast, sproei installatie bij borstelmachine functioneerde niet Fijnstof (stoffractie onbekend) en respirabel kwartsstof Fijnstof handmonitoren (TSI Dusttrak-2, TSI AM250) en persoonsgebonden MCE filtermetingen Twee monitoren zijn met tijdsintervallen van een uur op diverse posities op de locatie ingezet. Vijf taakgerichte filtermetingen gedurende 5 – 7 uur bij werknemers met verschillende functies: Swietelsky Rail, ballast transport, kraanmachinist ballast, buitenman stopmachine en uitvoerder Respirabel kwartsstof met FT-IR conform NIOSH 7602 uitgevoerd door RPS Directe toetsing van enkelvoudige meetresultaten aan grenswaarde

Nr.	Beschrijving onderzoeksrapport op basis van aantal parameters	
	Oordeel onderzoek	Filterkoppen en debieten voor afvangen respirabel stof zijn niet gespecificeerd, op basis van TNO afgeleide debieten had 1 meting (stopmachine, 4,6 L/min) afgekeurd moeten worden. Niet duidelijk is welke stoffracties zijn gemeten met de stofmonitors (de fractie 0,02 – 1 µm is beschreven, maar dit is vreemd gezien de hoge gemeten achtergrond en doel van het onderzoek: respirabel stof). Toetsing van resultaten aan grenswaarde niet conform NEN-EN 689.
7	Onderzoeksbureau Jaartal Meetlocatie Meetperioden Werkzaamheden Type ballast Vochtgehalte ballast Weersomstandigheden Beheersmaatregelen Metingen Meettechnieken Meetstrategie Analyses Blootstellingbeoordeling Oordeel onderzoek	NS Technische Onderzoek 1995 baanvak Woerden-Harmelen 1 meetperiode, 2 – 3 juli 1995 Nalossen van kwartsmicrodioriet ballast met drie FCCPP wagons gewassen ballast en twee FCCPP wagons ongewassen ballast Kwartsmicrodioriet (Quenast) Droog (visueel 0% vocht) Lichte regen Niet nader gespecificeerd, gedurende 10 dagen voor lossing was het droog en zonnig, waardoor de ballast droog was Inhaleerbaar stof en respirabel stof Stofmonitor voor respirabel stof (HUND) en PAS-6 filtermetingen voor inhaleerbaar stof Metingen zijn uitgevoerd op het bordes van de wagon die gelost werd (bij lossen). Tijdens het lossen zijn tevens monsters ballast van gewassen en ongewassen kwartsmicrodioriet genomen. Bepaling aanklevend stof > 1mm en percentage kwarts in het ballastmateriaal met XRD Niet van toepassing Metingen zijn uitgevoerd om stofontwikkeling bij ongewassen en gewassen kwartsmicrodioriet met elkaar te vergelijken, het gaat niet om (persoonlijke) blootstellingsmetingen.
8	Onderzoeksbureau Jaartal Meetlocatie Meetperioden Werkzaamheden Type ballast Vochtgehalte ballast Weersomstandigheden Beheersmaatregelen Metingen Meettechnieken Meetstrategie Analyses Blootstellingbeoordeling Oordeel onderzoek	TNO Bouw 1998 Baanvakken Vlaardingen/Maassluis, Boxtel/Vught en Zaandam/Purmerend 3 meetdagen, 8/9 juni, 21/22 juni en 22/23 juni 1998 Bijstorten en nalossen (deels met stortbakken, deels uit de losse hand) met FCCPP wagons achter kettinghor Drie soorten met gemengde ballast gneis, kwartsmicrodioriet en basalt Verschillend, 20 – 70% vocht (visuele schatting) Wisselvallig weer, enkele regenbuien, variërende windsterkte Geen extra bevochtiging toegepast Inhaleerbaar stof, respirabel kwartsstof Filtermetingen (Teflon) voor inhaleerbaar stof en respirabel cyclonen (cellulose-acetaat/nitraat) voor respirabel kwartsstof Persoonsgebonden metingen zijn verricht naast de trein (bovenwinds en benedenwinds) en in de stofwolk 0,5mtr (worst-case) tijdens lossen van de FCCPP wagons Bepaling kwartsgehalte in respirabel stof met XRD (zilvermethode) Toetsing van individuele resultaten op basis van 8-uurs TGG en 15-min TGG waarden aan grenswaarden Toetsing van resultaten aan grenswaarde is niet conform huidige NEN-EN 689. Respirabel stof niet in het onderzoek meegenomen.

Nr.	Beschrijving onderzoeksrapport op basis van aantal parameters	
9	<p>Onderzoeksbureau</p> <p>Jaartal</p> <p>Meetlocatie</p> <p>Meetperioden</p> <p>Werkzaamheden</p> <p>Type ballast</p> <p>Vochtgehalte ballast</p> <p>Weersomstandigheden</p> <p>Beheersmaatregelen</p> <p>Metingen</p> <p>Meettechnieken</p> <p>Meetstrategie</p> <p>Analyses</p> <p>Blootstellingbeoordeling</p> <p>Oordeel onderzoek</p>	<p>Arbo Advies Gorter</p> <p>2016</p> <p>baanvakken Wijchen en Maarn</p> <p>2 meetdagen, 10 september 2016 en 17 september 2016, beide in de avond (18:30 – 23:00)</p> <p>Lossen ballast met SALT wagons, één keer met droog stort-systeem (3 km in 4 uur) en één keer met sproeistort-systeem (1,7 km in 3 uur)</p> <p>Noors graniet</p> <p>Niet gespecificeerd</p> <p>Droog (evenals 10 voorafgaande dagen), half bewolkt, matige wind</p> <p>Sproeisysteem, onbekend of ballast in wagons vooraf is nat gesproeid</p> <p>Respirabel stof, respirabel kwartsstof</p> <p>Filtermetingen met respirabele cyclonen, filtertype niet gespecificeerd</p> <p>Taakgerichte persoonsgebonden filtermetingen bij 4 medewerkers betrokken bij het storten in de baan met SALT wagons zonder en met sproeisysteem</p> <p>Analyse respirabel kwartsstof niet gespecificeerd</p> <p>Toetsing gemiddelde meetresultaat op basis van 8-uurs TGG aan de grenswaarde, waarbij 4 uur loswerkzaamheden per dag is aangehouden</p> <p>Toetsing van resultaten is niet conform huidige NEN-EN 689: in plaats van individuele metingen is de gemiddelde waarde getoetst. Van bemeten medewerkers zijn de functies en taken niet beschreven en het is onduidelijk of de SALT wagons vooraf zijn nat gesproeid. Analysetechniek van de kwartsbepaling is niet beschreven. Één meting is niet meegenomen omdat korter is gemeten en niet duidelijk is welk moment pomp heeft aangestaan. Deze meting had meegenomen moeten worden. Bij vergelijking tussen sproeien en niet sproeien is geen rekening gehouden met de hoeveelheid gestorte ballast en de langere meetduur in relatie tot het storten. De door TNO uitgerekend reductie is ca. 50% in plaats van gerapporteerde 70%.</p>
10	<p>Onderzoeksbureau</p> <p>Jaartal</p> <p>Meetlocatie</p> <p>Meetperioden</p> <p>Werkzaamheden</p> <p>Type ballast</p> <p>Vochtgehalte ballast</p> <p>Weersomstandigheden</p> <p>Beheersmaatregelen</p> <p>Metingen</p> <p>Meettechnieken</p> <p>Meetstrategie</p>	<p>TNO Bouw en Ondergrond</p> <p>2008</p> <p>Onbekend</p> <p>2 meetdagen, 15 september 2007 's avonds en 22 oktober 2007 's middags</p> <p>Lossen ballast met SALT wagons, op 1^e meetdag met ingeschakelde sproeiërs en op 2^e meetdag met zowel in als uitgeschakelde sproeiërs</p> <p>1^e meetdag: graniet (Espevik, Noorwegen); 2^e meetdag: gneiss (Eikefet, Noorwegen)</p> <p>1^e meetdag: droog; 2^e meetdag: vochtig</p> <p>Droog, half bewolkt, matige wind (2 – 4 m/s)</p> <p>Op de 2^e meetdag was ballast in de SALT wagons vochtig door extra sproeien met water</p> <p>Inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwarts</p> <p>Filtermetingen voor inhaleerbaar stof en respirabele cyclonen voor respirabel stof en kwarts</p> <p>Taakgerichte persoonsgebonden metingen bij vegers/harkers, lossers en inspecteurs; daarnaast emissiemetingen dichtbij het stortpunt.</p>

Nr.	Beschrijving onderzoeksrapport op basis van aantal parameters	
	<p data-bbox="496 277 587 309">Analyses</p> <p data-bbox="496 327 746 358">Blootstellingbeoordeling</p> <p data-bbox="496 591 691 622">Oordeel onderzoek</p>	<p data-bbox="751 277 1267 309">Bepaling kwartsgehalte in respirabel stof met FT-IR</p> <p data-bbox="751 313 1299 371">Directe toetsing van enkelvoudige meetresultaten aan grenswaarde</p> <p data-bbox="751 376 1428 434">Metingen en analyses zijn op de juiste wijze uitgevoerd. Meetduur en typen filterkoppen zijn niet beschreven.</p> <p data-bbox="751 439 1428 837">Blootstellingsbeoordeling is gebaseerd op gemeten concentraties (worst-case) en niet omgerekend naar 8-uurs TGG waarden. Aantal metingen is te beperkt om duidelijke conclusies te kunnen trekken met betrekking tot blootstelling. Dit komt deels omdat er teveel variatie zat in de factoren: o.a. type ballast met verschillend kwartsgehalte, variatie in vochtigheidsgraad, met/zonder sproei installatie. Stofreductie bij het sproeien is berekend op basis van één meting; dit is te beperkt voor een betrouwbaarheid conclusie. Tijdens 1^e meetdag was de lossnelheid 10% van maximale capaciteit, dit betekent dat gemeten concentraties niet 'worst-case' zijn (wordt in het rapport zelf ook al aangegeven). Respirabel kwartsstof bij de persoonsgebonden metingen is berekend op basis van kwartspercentage van één emissiemeting, dit is discutabel.</p>

Tabel 2 Overzicht resultaten eerdere metingen inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwartsstof tijdens activiteiten met ballast, in opdracht van ProRail (1994 – 2016)

Bureau	Activiteit	Positie meting	Weer	Type ballast	vochtigheid ballast	% breekstof	Meet-duur (HH:MM)	Inh.stof (mg/m ³)	Resp.stof (mg/m ³)	Resp.kwarts (µg/m ³)	% kwarts
Buro Blauw 2010 (2)	achtergrond Arnhemuiden	achtergrond					04:22		0,06		
	graafmachine op rups, afgraven ballast	cabine					07:42		0,27	27	10%
	maatvoerder (o.a. storten met kral)	ademzone	droog, weinig wind	onbekend	onbekend	onbekend	03:58		1,63	203	12%
	werktreinbegeleider Fassen	ademzone					04:14		0,3	31	10%
	shovel, egaliseren ballast	cabine					07:03		0,18	15	8,3%
	losser Fassen (staat niet in stortfront)	ademzone					02:57		0,36	39	11%
	achtergrond Rilland Bath	achtergrond					10:54		0,05		
	graafmachine op rups, afgraven ballast	cabine					10:33		0,1	7	7,0%
	graafmachine op rups, afgraven ballast	cabine					09:49		0,11	9	8,2%
	werktreinbegeleider Fassen (hele werkdag)	ademzone	droog, weinig wind	onbekend	onbekend	onbekend	13:08		0,15	14	9,3%
	uitvoerder tijdens Fassen	ademzone					01:19		0,33	39	12%
	shovel, egaliseren ballast	overdrukcabine					02:10		0,16	16	10%
	losser Fassen (staat niet in stortfront)	ademzone					01:05		0,16	16	10%
	achtergrond Bergen op Zoom	achtergrond					02:47		0,28		
	ploegleider lossen FCCPPs	ademzone	droog, weinig wind	onbekend	onbekend	onbekend	01:30		2,8	248	8,9%
	losser FCCPPs	ademzone					01:40		2,02	171	8,5%
	begeleider stopmachine met borstelmachine	ademzone					01:37		1,34	104	7,8%
	achtergrond Lelystad	achtergrond					02:36		0,16		
	ballast afwerkmaschine	overdrukcabine	droog, weinig wind	onbekend	onbekend	onbekend	02:05		0,29	10	3,4%
	begeleider stopmachine 09-3X (in stofwolk)	ademzone					01:00		4,54	348	7,7%
	achtergrond Hardinxveld-Giessendam	achtergrond					02:11		0,11		
kettinghor	overdrukcabine	droog, weinig wind	onbekend	onbekend	onbekend	02:08		0,56	143	26%	
kettinghor	bij stofbron					02:19		2,63	801	30%	
NSTO 1994 (3/4)	nalossen FCCPP wagons na kettinghor			basalt	visueel 80%	nauwelijks	00:40	< 1,3	0,15	< 2	< 1%
	nalossen FCCPP wagons na kettinghor			basalt	visueel 90%	nauwelijks	01:00	0,8	0,2	< 2	< 1%
	nalossen FCCPP wagons na kettinghor			basalt	visueel 20%	weinig	00:45	5,5	1,1	< 20	< 1%
	nalossen FCCPP wagons na kettinghor	ademzone, in stofwolk	droog, weinig wind	basalt	visueel 2%	veel	00:35	92,3	19,5	< 200	< 1%
	lossen FCCPP wagons			kwarts-microdioriet	visueel 60%	weinig	00:15	3	2	≤ 400	≤ 20%
	nalossen FCCPP wagons na kettinghor			kwarts-microdioriet	visueel 80%	nauwelijks	00:15	< 3	0,4	≤ 80	≤ 20%

Bureau	Activiteit	Positie meting	Weer	Type ballast	vochtigheid ballast	% breekstof	Meet-duur (HH:MM)	Inh.stof (mg/m ³)	Resp.stof (mg/m ³)	Resp.kwarts (µg/m ³)	% kwarts
	lossen FC / FCCPP wagons in wissel			kwartsmicrodioriet 22/40	visueel 10%	weinig	00:30	21,7	5,3	≤ 1000	≤ 20%
	lossen FC / FCCPP wagons		regen, wind	gneis	visueel 95%	veel	00:30	3,3	1	≤ 450	≤ 45%
Arcadis 1999 (1)	lossen FCCPP wagons	ademzone, in stofwolk	droog, weinig wind	gneis	visueel 60%	-	00:45	0,94	0,29	≤ 130	≤ 45%
	lossen FCCPP wagons			gneis	visueel 90%	-	00:45	0,8	0,2	≤ 90	≤ 45%
NSTO 1995 (7)	lossen FCCPP wagons ongewassen ballast	ademzone, bordes	lichte neerslag	kwarts-microdioriet	visueel 0%	0,34%	00:33	7,6	1,9		
	lossen FCCPP wagons gewassen ballast					0,13%	00:19	7,1	1,3		
Perseus 2017 (6)	Swietelsky Rail ballast vrachtwagen	ademzone cabine	vochtig, lichte neerslag	kwarts-microdioriet	vochtig (door besproeien)	onbekend	06:45			1,3	
	kraanmachinist ballast	cabine					06:27			8,6	
	buitenman stopmachine	ademzone					07:21			11	
	uitvoerder	ademzone					05:13			88	
							06:03			4,4	
TNO 1998 (8)	nalossen FCCPP wagons na kettinghor	in stofwolk	lichte regen, windkracht 5	80% gneis	visueel 70%	-	00:50	11,4		64	
	nalossen FCCPP wagons na kettinghor	naast trein		20% kwarts-microdioriet			00:50	13,4 (0,18)		70 / 61	
	nalossen FCCPP wagons na kettinghor	in stofwolk	vnl. droog, windkracht 3	90% kwarts-microdioriet	visueel 30%	-	01:58	2,1		674	
	nalossen FCCPP wagons na kettinghor	naast trein		10% gneis			01:58	7,5 (0,92)		83 / 54	
	nalossen FCCPP wagons spoorvernieuwing	in stofwolk	droog, windkracht 4	55% gneis	visueel 20%	-	01:19	15,0		199	
	nalossen FCCPP wagons spoorvernieuwing	naast trein		45% basalt			01:19	16,4/26,9		96 / 96	
Arbo Advies Gorter 2016 (9)	medewerker SALT wagon zonder sproeien	ademzone, positie / taken medewerkers niet bekend	droog, halfbewolkt, matige wind	noors graniet	onbekend	onbekend	04:32		0,88	99	11%
	medewerker SALT wagon zonder sproeien						04:32		0,63	61	10%
	medewerker SALT wagon zonder sproeien						04:37		0,41	39	10%
	medewerker SALT wagon zonder sproeien						04:31		0,54	48	8,9%
	medewerker SALT wagon met sproeien						01:00		0,37	48	13%
	medewerker SALT wagon met sproeien						03:57		0,29	16	5,5%
	medewerker SALT wagon met sproeien						03:37		0,33	29	8,8%
	medewerker SALT wagon met sproeien						03:38		0,19	12	6,3%
TNO 2008 (10)	lossen SALT wagon met sproeisysteem	nabij stortfront						6,0	0,93	160	17%
	veger SALT wagon met sproeisysteem	in ademzone	droog, matige wind	graniet (Espevik)	droog	onbekend		6,0	0,28	49	
	losser 1 SALT wagon met sproeisysteem	in ademzone							0,22	38	
	losser 2 SALT wagon met sproeisysteem	in ademzone							0,34	59	

Bureau	Activiteit	Positie meting	Weer	Type ballast	vochtigheid ballast	% breekstof	Meet-duur (HH:MM)	Inh.stof (mg/m ³)	Resp.stof (mg/m ³)	Resp.kwarts (µg/m ³)	% kwarts
	Inspecteur SALT wagon met sproeisysteem lossen SALT wagon zonder sproeisysteem lossen SALT wagons met sproeisysteem veger SALT wagon afwisselend sproeien losser 1 SALT wagon met sproeisysteem	in ademzone nabij stortfront nabij stortfront in ademzone in ademzone		gneis (Eikefet)	vochtig			0,83 68 7,9 < 0,54	< 0,20 4,7 0,8 0,65 < 0,56	< 35 240 41 33 < 29	5,1%

4 Uitvoering metingen en beoordeling mate van blootstelling

4.1 Meetstrategie

Voor de uitvoering van de metingen in de praktijk is bij het opstellen van de meetstrategie gebruik gemaakt van de principes zoals beschreven in de NEN-EN 689 (NEN, 2019), zodat bij de beoordeling van de meetresultaten deze kunnen worden vergeleken met de grenswaarden. Hierbij zijn twee verschillende meetstrategieën toegepast:

1. Een representatieve (realistische) inschatting van de mate van blootstelling op basis van persoonlijke, taakgerichte blootstellingsmetingen uitgevoerd in verschillende tijdsperiodes rekening houdend met de belangrijkste factoren die de mate van blootstelling beïnvloeden.
2. Een 'worst-case' inschatting van de mate van blootstelling op basis van (stationaire) metingen die zijn uitgevoerd dichtbij de emissiebron onder de 'worst-case' omstandigheden met betrekking tot de factoren die de mate van blootstelling beïnvloeden.

In het onderzoek is in eerste instantie gebruik gemaakt van de worst-case benadering, waarbij gedurende de handeling met ballast stationaire metingen (in duplo) zo dicht mogelijk bij de emissiebron (bijvoorbeeld dicht bij het stortfront tijdens lossen) zijn verzameld (Tromp, 2021). Overige omstandigheden, zoals de uitvoering van de laad- en losactiviteiten en het bevochtigen van het materiaal, waren realistisch en representatief voor een huidige projectuitvoering. Om ook een representatieve inschatting te kunnen maken van de mate van blootstelling zijn in het huidige onderzoek aanvullend persoonsgebonden blootstellingsmetingen uitgevoerd bij werknemers die direct en indirect betrokken waren bij het uitvoeren van de verschillende activiteiten. Deze metingen zijn waar dat mogelijk was simultaan uitgevoerd met de stationaire metingen nabij de emissiebron. Alle metingen zijn uitgevoerd bij droog weer zonder neerslag en mist en bij een zwakke tot matige wind (maximaal windkracht 4). Er is ook op gelet dat op de dag(en) voorafgaand aan de metingen geen of nauwelijks neerslag is gevallen.

4.2 Blootstellingsfactoren

Tijdens de metingen is zoveel mogelijk informatie vastgelegd met betrekking tot factoren die de stofemissie en stofverspreiding beïnvloeden (contextuele informatie). Factoren van invloed op de stofemissie en stofverspreiding tijdens handelingen met ballast zijn:

- vochtgehalte van de ballast;
- het gehalte breekstof in de ballast;
- al dan niet toepassen van beheersmaatregelen, zoals bevochtigen/besproeien voorafgaand of tijdens de stofvormende handelingen;
- type ballast en kwartsgehalte van de ballast;
- de weersomstandigheden;
 - de hoeveelheid ballast betrokken bij de handeling en snelheid waarmee en schaal waarop de ballast wordt gehanteerd (massa/tijdseenheid);
 - storten/overslag ballast: de storthoogte, de ondergrond, gebruikte machines/wagons (shovel, krol, vrachtwagen, lopende band, zijlosser, onderlosser, container, 'big bag', 'kubel', etc.);

- spoorbaan renovatie: gebruikte machines (stopmachine, profileermachine, kettinghor, vernieuwingstrein, borstelmaschine, shovel/krol met schuifmal, 'wacker', trilplaat, etc.);
- omstandigheden op locatie, onder andere beschutting (aanwezigheid van gebouwen en objecten), de ligging van de spoorbaan (de hoogte).

Factoren van invloed op de persoonlijke blootstelling van werknemers:

- de positie (afstand) van de werknemers ten opzichte van de emissiebron in combinatie met heersende windrichting (onder andere gerelateerd aan de taak/functie van de werknemers);
- eventuele beschermingsfactoren, zoals in cabine met/zonder overdruk, adembescherming (met P3 of FFP3 filter);
- de tijdsduur van de stofemitterende activiteit(en) binnen een 8 uur durende werkdag;
- de verspreiding/verdunding van de stofconcentratie met de afstand tot de emissiebron en over de tijd (weers- en overige omstandigheden hebben hier een effect op).

4.3 Blootstellingsgroepen

In de praktijk is het vaak niet mogelijk om de mate van blootstelling van elke werknemer tijdens elke werkdag te meten. Om toch een representatief beeld te verkrijgen over de mate van blootstelling van alle werknemers, is in de NEN-EN 689 een procedure beschreven waarbij werknemers worden ingedeeld in vergelijkbare homogene blootstellingsgroepen, zogenaamde "Similar Exposure Groups" (SEGs). De blootstellingsprofielen van functiegroepen worden gebruikt om SEGs samen te stellen. Bij het bepalen of een groep werknemers een vergelijkbaar blootstellingsprofiel heeft, wordt gekeken naar de vergelijkbaarheid en frequentie van uitgevoerde taken, de materialen en processen waarmee wordt gewerkt, en de vergelijkbaarheid van de manier waarop de taken worden uitgevoerd.

In dit onderzoek zijn SEGs samengesteld op basis van de taakgerichte activiteiten van werknemers betrokken bij de werkzaamheden met ballast. Het gaat hier dus vooral om het uitvoeren van specifieke handelingen (taken) met ballast waarbij stofvorming ontstaat. Factoren die daarin een rol spelen zijn de afstand tussen de werknemer en de stofvormende processen, toegepaste beheersmaatregelen (onder andere bevochtigen) en beschermingsmiddelen (bijvoorbeeld cabine met/zonder overdruk, adembescherming met P3 of FFP3-filter). Bij het beoordelen van de meetresultaten per SEG is middels een test op lognormale verdeling getoetst of dit daadwerkelijk een homogene blootstellingsgroep betrof. Wanneer op basis van de resultaten van de taakgerichte blootstellingsmetingen bij een representatief deel van de medewerkers binnen een SEG kan worden geconcludeerd dat de grenswaarde niet wordt overschreden (compliance), kan dit als zodanig worden beschouwd voor alle werknemers binnen die SEG.

Op basis van de duur en frequentie van blootstelling per activiteit en de mogelijke combinatie van activiteiten binnen een bepaalde SEG, kunnen verschillende blootstellingsscenario's worden opgesteld. Op basis van de resultaten van de taakgerichte persoonsgebonden metingen en deze blootstellingsscenario's kan voor ieder scenario worden ingeschat of de blootstelling in voldoende mate beneden de geldende grenswaarden voor inhaleerbaar en respirabel stof en respirabel kwartsstof ligt. In dit onderzoek konden door het ontbreken van informatie omtrent duur,

frequentie en combinatie van activiteiten geen blootstellingsscenario's worden opgesteld. Daarom is de beoordeling uitgevoerd op basis van de resultaten van de taakgerichte metingen, hierbij is aangenomen dat voor iedere SEG de activiteit gedurende de gehele werkdag wordt uitgevoerd.

Op basis van informatie van ProRail en sporaanemers en op basis van eigen observaties zijn de onderstaande blootstellingsgroepen (SEGs) gedefinieerd (zie Tabel 3). Voor deze groepen zijn bij een selectie van werknemers taakgerichte persoonsgebonden metingen uitgevoerd.

Tabel 3 Indeling van taken/functies in blootstellingsgroepen (SEGs).

SEG	Functie / activiteit	Werklocatie
1	Uitvoerder lossen ballast:	
	FCCP/FACCS wagons	A.1 Losser ballast A.2 Begeleider lossen
	SALT wagons	B. Losser ballast
	FAS wagons	C. Losser ballast
	Big bag / 'kubel'	D. Losser ballast
	Ballast container	E. Losser ballast
2	Bediener spoorbaanrenovatiemachine:	
	Stopmachine	A.1 Uitvoerder buiten A.2 Uitvoerder binnen A.3 Maatvoerder
	Profileermachine	B.1 Uitvoerder buiten B.2 Uitvoerder binnen
	Kettinghor	C.1 Uitvoerder buiten C.2 Uitvoerder binnen C.3 Worteldoeklegger
3	Uitvoerder kleinschalig onderhoud (o.a. bediener trilplaat, 'wacker', bladblazer, ballastzuiger/losser, borstelmachine)	
4	Conventioneel ontgraven, storten en laden/lossen	A. Chauffeur/machinist kraan, krol, shovel, vrachtwagen, dumper
		B. Uitvoerder buiten nabij het werk
5	Veiligheids-/treinbegeleider / begeleider buitendienst gesteld spoor (BBD) op treinen en spoormachines	
6	Machinist spoormachines (o.a. trein met loswagons, stopmachine, profileermachine, kettinghor, etc.)	
7	Overige medewerkers in de baan, niet gerelateerd aan ballastwerkzaamheden:	
	- monteur (Seinwezen, Baan, Treinbeveiliging)	
	- spoorlegger	
	- grondwerker K&I	
	- leider werkplek beveiliging (LWB) - leider lokale veiligheid (LLV)	

4.4 Meet- en analysemethoden

4.4.1 Inhaleerbaar en respirabel stof

Inhaleerbaar stof is bemonsterd op teflon filters met behulp van "IOM" samplers, en respirabel stof is bemonsterd op PVC filters met behulp van "Higgins-Dewell" cyclonen. De concentratie aan inhaleerbaar stof en respirabel stof is bepaald met behulp van gravimetrische analyse volgens NEN-EN 12341 (NEN, 2014). De PVC filters en teflonfilters zijn voor en na bemonstering gewogen met behulp van een microbalans ($\pm 1 \mu\text{g}$) tot constant gewicht in een geconditioneerde kamer (50% relatieve vochtigheid, 20 °C). De detectielimiet (limit of detection: LOD) van deze methode is 10 μg , dit komt overeen met een LOD van ca. 0,03 mg/m^3 voor een inhaleerbaar en respirabel stof meting van 2 uur.

De "IOM" samplers en "Higgins-Dewell" cyclonen voldoen aan de definities voor inhaleerbaar en respirabel stof conform NEN-EN 481 (NEN, 2001):

- de respirabele fractie van de in de lucht zwevende deeltjes is gedefinieerd als de massafractie van ingeademde deeltjes die doordringen tot de niet-gevulde luchtwegen (longblaasjes). Bij het meten van respirabel stof bevindt 50% van de opgevangen deeltjes met een diameter van ca. 4 μm zich in de respirabele fractie.
- de inhaleerbare fractie van de in de lucht zwevende deeltjes is gedefinieerd als de massafractie van de totale in de lucht zwevende deeltjes die via de neus of mond kunnen worden ingeademd. Bij het meten van inhaleerbaar stof bevindt 50% van de opgevangen deeltjes met een diameter van ca. 100 μm zich in de inhaleerbare fractie.

4.4.2 Respirabel kristallijn silica (respirabel kwartsstof)

In de respirabel stof filters is de fractie kristallijn silica (SiO_2) bepaald met behulp van infrarood spectrometrie (FTIR) conform NIOSH 7602 (NIOSH, 2003a). Met deze methode wordt specifiek kristallijn silica bepaald en wordt onderscheid gemaakt in de kristallijne vormen kwarts en cristoballiet. De LOD van deze methode is 1 μg , dit komt overeen met een LOD van 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ voor een respirabel kwartsstof meting van 2 uur.

4.4.3 Bepaling hoeveelheid stof

De hoeveelheid stof in het gesteente is bepaald met behulp van een natte wassing conform NEN-EN 933-1 (NEN, 2012). Hierbij zijn de fracties < 63 μm (fines), 63 – 1000 μm , 1 – 10 mm en > 10 mm bepaald.

4.4.4 Kwaliteitsborging

Binnen TNO wordt onderzoek uitgevoerd onder een kwaliteitsborgingsysteem conform NEN-EN-ISO 9001 (certificaat nr. 165832-2015-AQ-NLD-RvA). De afdeling Environmental Modelling, Sensing and Analysis (TNO-EMSA) voldoet tevens aan de accreditatiecriteria voor testlaboratoria zoals vastgelegd in NEN-EN-ISO/IEC 17025. De accreditatie omvat het kwaliteitssysteem van het laboratorium evenals de specifieke verrichtingen. Het laboratorium staat in het RvA register ingeschreven onder nummer L026. Officiële kwaliteitsfunctionarissen binnen TNO dragen zorg voor jaarlijkse interne audits met als doel de kwaliteit tussentijds te monitoren, te beheersen en waar mogelijk aan te passen. Jaarlijks wordt het laboratorium inclusief management ge-audit door een extern RvA team van vakspecialisten.

4.5 Uitvoering metingen

Stationaire metingen zijn in twee varianten uitgevoerd. Enerzijds, bij activiteiten die op één locatie zijn uitgevoerd, zoals onder andere ontgraven, laden/lossen, conventioneel stoppen/profileren, zijn de meetinstrumenten op een vast statief geplaatst en benedenwinds van de activiteiten gepositioneerd (afstand 1 - 5 meter). Anderzijds, bij loswagons en onderhoudsmachines zijn de meetinstrumenten (filterkoppes) op het uiteinde van een stok gemonteerd. Tijdens het meelopen met de wagons/machines werden deze meetinstrumenten op korte afstand (ca. 1 meter) van de stofvormende activiteit gepositioneerd. De stationaire 'statief'-metingen bevonden zich dus over het algemeen verder van de activiteit af dan de stationaire 'stok'-metingen. De resultaten van de stationaire 'statief'-metingen zijn geen persoonsgebonden metingen, maar kunnen gebruikt worden om een inschatting te maken van de mate van blootstelling onder realistische 'worst-case' omstandigheden. Tijdens de activiteiten en handelingen bevonden werknemers (bijvoorbeeld grondwerkers of opzichters) zich in dezelfde zone als deze stationaire 'statief'-metingen. De stationaire 'stok'-metingen hebben meer het karakter van emissiemetingen; op basis van de resultaten van deze metingen kan geen realistische inschatting van de mate van 'worst-case' blootstelling worden gemaakt.

De apparatuur voor de persoonsgebonden blootstellingsmetingen is zoveel als mogelijk op de persoon geplaatst, met de filterkop in de ademzone. Bij machinisten en chauffeurs is de meetapparatuur in de cabine geplaatst met de filterkop zo dicht mogelijk in de ademzone van de bestuurder. Wanneer werknemers, belast met specifieke onderhoudsactiviteiten, bezwaar hadden bij het dragen van een meetinstrument (pompje + filterkop) en het voor het onderzoek relevant was om de meting toch uit te laten voeren, is een zogenaamde schaduwmeting uitgevoerd. Dat wil zeggen dat een medewerker van TNO het meetinstrument droeg, en zich continu in dezelfde zone als de betreffende werknemer bevond. Deze schaduwmetingen zijn niet zonder meer meegenomen in de blootstellingsprofielen, maar eerst gecontroleerd op vergelijkbaarheid met de rest van de metingen. Ook zijn achtergrondmetingen uitgevoerd, meelopend op ca. 5 meter van de loswagons of onderhoudsmachines. Deze metingen kunnen worden gebruikt om een schatting te maken van de mate van blootstelling voor werknemers die op het naastgelegen spoor aan het werk zijn (bijvoorbeeld spoorleggers, grondwerkers, monteurs, etc.).

4.6 Toetsing aan grenswaarden

De gemeten concentraties tijdens de taakgerichte activiteiten zijn getoetst aan grenswaarden op basis van tijdgewogen gemiddelde (TGG) concentraties, conform NEN-EN 689. Hierbij is uitgegaan van een referentieperiode van 8 uur (8-uurs TGG) voor de beoordeling van een daggemiddelde blootstelling. De monsternemingsduur en analysemethoden zijn zodanig gekozen dat zo laag als mogelijk kan worden gemeten, waarbij de detectiegrens onder 10% van de grenswaarde ligt.

Voor een verkennend blootstellingsonderzoek, waarbij de resultaten van het onderzoek worden getoetst aan een percentage van de grenswaarde, dienen 3-5 persoonsgebonden metingen per blootstellingsgroep (SEG) en/of activiteit uitgevoerd te worden. Om de resultaten van een blootstellingsonderzoek met behulp van een statistische toets met de grenswaarde te kunnen vergelijken dienen minimaal 6 metingen per blootstellingsgroep en/of activiteit uitgevoerd te worden,

verdeeld over verschillende medewerkers en verspreid over meerdere locaties. De manier waarop de resultaten van de metingen per blootstellingsgroep worden getoetst aan de grenswaarden is afhankelijk van het aantal metingen dat per blootstellingsgroep wordt verzameld.

Bij een verkennend blootstellingsonderzoek (3-5 metingen per SEG) wordt aangenomen dat met een indicatieve set metingen de mogelijke mate van variatie in blootstelling niet voldoende goed in kaart kan worden gebracht. Daarom worden in dit geval de individuele meetresultaten getoetst aan een percentage van de grenswaarde (GW):

- Indien er 3 metingen zijn verzameld, dan moeten alle meetresultaten <10% GW liggen;
- Indien er 4 metingen zijn verzameld, dan moeten alle meetresultaten <15% GW liggen;
- Indien er 5 metingen zijn verzameld, dan moeten alle meetresultaten <20% GW liggen.

Wanneer per blootstellingsgroep (SEG) en/of activiteit zes metingen of meer zijn uitgevoerd worden de meetresultaten op basis van een statistische toets vergeleken met de grenswaarde. Hierbij geldt als criterium voor "compliance" dat met 70% zekerheid kan worden gesteld dat <5% van de blootstelling in de SEG de grenswaarde overschrijdt.

4.7 Grenswaarden inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwartsstof

Voor beroepsmatige blootstelling aan inhaleerbaar en respirabel stof worden door de individuele lidstaten van de EU verschillende grenswaarden gehanteerd. Voor inhaleerbaar stof varieert de grenswaarde tussen 4 – 10 mg/m³ en voor respirabel stof varieert deze tussen 0,3 – 5 mg/m³. Duitsland heeft de strengste grenswaarden van alle EU-landen. De eerder in Nederland gestelde grenswaarden van 10 mg/m³ voor inhaleerbaar stof en 5 mg/m³ voor respirabel stof hebben geen wettelijke status meer; sinds januari 2007 zijn deze waarden vervallen en vallen deze stoffen onder het private deel van het grenswaardenstelsel. Dit betekent dat in het kader van de RI&E (risico-inventarisatie en -evaluatie) door de werkgever (of branche) zelf bedrijfsgrenswaarden moeten worden afgeleid. In Nederland kunnen de Duitse grenswaarden voor inhaleerbaar en respirabel stof als richtwaarden worden gebruikt. In Duitsland zijn twee standaarden opgesteld: de 'Technische Regeln für Gefahrstoffe' (TRGS) van Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) en de 'Maximum Arbeitsplatz-Konzentration' (MAK) van de Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG). Deze waarden zijn weergegeven in Tabel 4.

De door DFG gedefinieerde grenswaarde voor respirabel stof (0,3 mg/m³) geldt voor bio-persistent korrelig stof. Deze grenswaarde gaat uit van een dichtheid van 1 g/cm³ en is van toepassing in geval van langdurige blootstelling aan stof. Bij omrekening naar een dichtheid van de ballast (ca. 2,8 g/cm³) zal de grenswaarde uitkomen op ca. 0,8 mg/cm³. Het is echter niet duidelijk of deze grenswaarde toepasbaar is voor stof afkomstig van ballast gesteente. Deze waarde heeft geen wettelijke status, maar is wel aanleiding geweest om de grenswaarde van AGS voor respirabel stof te verlagen naar 1,25 mg/m³. Door de Duitse regering is deze verlaagde waarde vervolgens opgenomen in de TRGS-900 grenswaardelijst en als zodanig opgenomen

in de Duitse wet- en regelgeving. De grenswaarden van AGS zijn momenteel ook de meest gebruikte waarden binnen de EU.

Tabel 4 Grenswaarden voor inhaleerbaar en respirabel stof in Duitsland.

Stof (mg/m ³)	AGS ¹⁾		DFG ²⁾	
	8-uurs TGG ³⁾	15-min TGG	8-uurs TGG	15-min TGG
Inhaleerbaar stof	10	20	4 ⁴⁾	
Respirabel stof	1,25 ⁵⁾	3	0,3 ⁶⁾	2,4 ⁶⁾

- 1) Van toepassing op onoplosbare deeltjes, niet van toepassing op ultrafijn stof en stof met specifieke toxiciteit. De grenswaarden zijn algemene bovengrenzen voor technische maatregelen, zolang er geen specifieke regelgeving voor giftige of kankerverwekkende stoffen beschikbaar is
- 2) Deze waarden zijn algemene grenswaarden voor onoplosbare deeltjes
- 3) TGG = tijdgewogen gemiddelde waarde (gedurende 8 uur of 15 minuten)
- 4) Toepasbaar voor biopersistent korrelig stof; de grenswaarde van 0,3 mg/m³ is afgeleid voor stof met een dichtheid van 1 g/cm³
- 5) De grenswaarde is afgeleid voor stof met een gemiddelde dichtheid van 2,5 g/cm³
- 6) De grenswaarde is afgeleid als een gemiddelde waarde over een jaar. Voor de inhaleerbare fractie zijn overschrijdingen boven de grenswaarde toegestaan. De overschrijdingen mogen de grenswaarde niet met een factor twee overschrijden (zie Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten, 25^e uitgave, 1997)

In 2013 werden de geldende grenswaarden in Groot Brittannië, van 10 mg/m³ voor inhaleerbaar stof en 4 mg/m³ voor respirabel stof, flink ter discussie gesteld (Cherrie et al, 2013). Op basis van epidemiologisch en toxicologisch onderzoek komt het Institute of Occupational Medicine (IOM) tot een advies van 5 mg/m³ voor inhaleerbaar stof en 1 mg/m³ voor respirabel stof. Deze waarden zijn echter niet opgenomen in de Britse wet- en regelgeving.

Voor onderhavige studie heeft ProRail a priori de keuze gemaakt om te toetsen aan 4 mg/m³ voor inhaleerbaar stof en 1,25 mg/m³ voor respirabel stof, en deze als bedrijfsgrenswaarden vastgesteld (zie ook Tabel 5). Deze waarden zijn in overeenstemming met de recentelijk door Prevent Partner voorgestelde private grenswaarden (van Balen *et al.*, 2020a) op basis van een evaluatie van grenswaarden voor blootstelling aan fijnstof in spoortunnels. In dit advies zijn ook grenswaarden voorgesteld voor kortdurende (15-min TGG) blootstelling aan inhaleerbaar stof (8 mg/m³) en respirabel stof (2,5 mg/m³).

De grenswaarde voor respirabel kristallijn silica (respirabel kwartsstof) is een wettelijke grenswaarde die is verankerd in het Arbeidsomstandighedenbesluit. Respirabel kristallijn silica staat momenteel op het werkprogramma van de Gezondheidsraad. Dit betekent dat de grenswaarde opnieuw wordt beoordeeld.

Voor toetsing van de concentratie aan respirabel kristallijn silica (waaronder kwarts, trydimiet en cristoballiet) is uitgegaan van de huidige grenswaarde van 0,075 mg/m³ (respirabele fractie) (zie ook Tabel 5).⁴ In een recent uitgebracht conceptadvies van de Gezondheidsraad (GR) aan de minister van SZW is op basis van

⁴ Staatscourant 2019, 65293: Regeling van de Staatssecretaris van Sociale Zaken en Werkgelegenheid van 22 november 2019, nr. 2019-0000165896, tot wijziging van de Arbeidsomstandighedenregeling in verband met de implementatie van Richtlijn 2017/164 in Bijlage XII.

gezondheidskundige onderbouwing een hoog risiconiveau (health-based calculated occupational risk value) van 0,0363 mg/m³ voorgesteld.⁵ Als dit advies wordt aangenomen dan zal door de SER in samenspraak tussen werkgevers en werknemers een nieuwe grenswaarde worden afgeleid voor respirabel kristallijn silica.

Tabel 5 Grenswaarden voor inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwartsstof zoals gehanteerd door ProRail

Type stof	Grenswaarde (8-uurs TGG in mg/m ³)	Grenswaarde (15-minTGG in mg/m ³)
<i>Bedrijfs grenswaarde ProRail</i>		
Inhaleerbaar stof	4	8
Respirabel stof	1,25	2,5
<i>Wettelijke grenswaarde</i>		
Respirabel kwartsstof	0,075	0,075

⁵ Respirable crystalline silica - Evaluation of health hazards as basis for an occupational exposure limit, Gezondheidsraad, public draft 14 december 2023: <https://www.healthcouncil.nl/documents/advisory-reports/drafts/draft-reports/01/draft-advisory-report-for-public-review-respirable-crystalline-silica>

5 Resultaten stationaire en persoonsgebonden metingen

5.1 Overzicht verzamelde metingen tijdens activiteiten met ballast

De inhaleerbaar- en respirabel stofmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 8 juni 2021 tot en met 1 september 2022, tijdens transport, overslag en diverse spooronderhoudswerkzaamheden met verschillende typen ballast gesteenten. In Tabel 6 is een overzicht gegeven van de activiteiten, de metingen en meetcondities. Hierbij is steeds het geldende veiligheidsregime in acht genomen. In Bijlage B: Beeldmateriaal is een selectie van foto's opgenomen om een beeld te geven van bijvoorbeeld de verschillende onderhoudsmachines en de variatie in omstandigheden tijdens de metingen. Een deel van de metingen is uitgevoerd met het metazandsteen gesteente uit Bremanger ter vergelijking van de metingen in de praktijk in Fase 1 van het onderzoek met het kwartsmicrodiorietgesteente uit Quenast (paragraaf 5.2). Dit betreft stationaire metingen benedenwinds en dichtbij de stofvormende activiteiten. Daarnaast zijn ter verificatie en aanvulling van de meetresultaten in Fase 1 ook stationaire metingen uitgevoerd bij spooronderhoudswerkzaamheden met andere typen ballast (paragraaf 5.2). Met de stationaire metingen wordt inzicht verkregen in de bronnen van blootstelling (worst-case). Naast de stationaire "emissiemetingen" zijn waar mogelijk ook persoonsgebonden blootstellingsmetingen uitgevoerd bij werknemers betrokken bij de activiteiten en handelingen met ballast (paragraaf 5.3).

Het onderzoek heeft te maken gehad met veel beperkingen. Om de blootstelling aan (kwarts)stof niet te onderschatten zijn alle metingen uitgevoerd bij droog weer met een zwakke tot matige wind, waarbij op de dag(en) voorafgaand aan de metingen geen of nauwelijks neerslag was gevallen. Dit had consequenties voor het aantal mogelijke meetdagen. Daarnaast is het lastig gebleken om de planning van de metingen goed af te stemmen met de spooraanneemers. Dit heeft tot gevolg gehad dat er voornamelijk tijdens het werk van één bepaalde spooraanneemer is gemeten, en het aantal metingen dat is verzameld tijdens werk van andere spooraanneemers beperkt is gebleven. Dit heeft ertoe geleid dat mogelijke variatie tussen spooraanneemers met betrekking tot bijvoorbeeld toegepaste werkmethoden en onderhoudsmachines niet kon worden onderzocht. Op basis van observaties van de bemeten onderhoudstrajecten bij de verschillende spooraanneemers wordt verwacht dat vergelijkbare onderhoudsmachines worden gebruikt en de toegepaste werkmethoden niet veel van elkaar verschillen. Het is echter bijvoorbeeld niet bekend in hoeverre bevochtiging van de ballast en/of het ballastbed als reguliere emissiebeperkende maatregel even consequent wordt toegepast door iedere spooraanneemer.

Bovenstaande beperkingen hebben er ook toe geleid dat de uitvoering van het onderzoek langer heeft geduurd, en er niet in alle gevallen aan de originele meetstrategie (het verzamelen van minimaal zes metingen per blootstellingsgroep) is voldaan. Hierdoor is voor sommige blootstellingsgroepen slechts een beperkt aantal metingen uitgevoerd. Gezien het spoedeisende karakter van het onderzoek is op verzoek van ProRail besloten om geen aanvullende metingen meer te verzamelen, en over te gaan tot rapportage op basis van de beschikbare meetresultaten. Dit betekent dat voor een aantal blootstellingsgroepen (<6 metingen) een indicatieve toetsing is uitgevoerd conform NEN-EN 689.

Tabel 6 Overzicht van verzamelde metingen in de praktijk en condities tijdens de diverse bemeten activiteiten met ballastmateriaal.

Nr. ⁵⁾	SEG	Datum Starttijd- Eindtijd ⁶⁾	Locatie	Activiteit	Type ballast	Beschrijving metingen		Beheersmaatregelen / Opmerkingen	Weer, temp., rel. vochtig- heid, wind
						stationair ¹⁾	persoonsgebonden		
1	4A / 4B / 5	8-6-2021 08:00-11:45	Amsterdam, GIB	Beladen vrachtwagens met shovel	Meta- zandsteen Bremanger	Achter laadbak vrachtwagen, weerszijden	Cabine vrachtwagen (raam afwisselend open en dicht); cabine shovel (dicht)	Depot werd natgehouden met sproeier	Droog, wisselend bewolkt, 22 °C, 48%, 2 m/s
2	4A / 4B / 5	10-6-2021 08:10-10:00	Amsterdam, locatie IF1	Lossen vracht- wagens en beladen SALT wagens met bobcat en kraan	Meta- zandsteen Bremanger	Achter SALT wagens, weerszijden	Cabine kraan (raam open); cabine bobcat (open)	Tijdelijk depot werd regelmatig natgehouden met nevelkanon	Droog, zonnig, 21 °C, 62%, 3 m/s
3	4A / 4B	12-6-2021 17:00-18:15	Zutphen, wissels	Ontgraven met shovel en lossen in Klmos wagons met rupskraan	Oude ballast	Benedenwinds aan weerszijden van ontgravings- werkzaamheden	Cabine shovel en cabine kraan (raam afwisselend open en dicht) ²⁾	20% v/d meetduur geen activiteit	Droog, zwaar bewolkt, 18 °C, 57%, 6 m/s
4	4A / 4B	12-6-2021 18:15-19:30	Zutphen, wissels	Lossen Klmos wagens, shovel en rupskraan	Recycle ballast GBN	Benedenwinds aan weerszijden van het storten, uitspreiden en nivelleren in de baan		Onbekend of ballast vooraf is natgemaakt	Droog, betrokken, 17 °C, 58%, 5 m/s
5	4A / 4B	12-6-2021 19:30-20:00	Zutphen, wissels	Conventioneel profiëren onder- baan met shovel	Recycle ballast GBN				Droog, betrokken, 16 °C, 58%, 4 m/s
6	2C	13-6-2021 20:50-22:10	Zutphen, spoor	Kettinghor RM85 - met sproeien	Oude ballast	Meelopend met de kettinghor, bij de ketting, de zeef en het storten van gerecyclede ballast	Cabine kettinghor (dicht); schaduwmeting bij werknemers rondom de kettinghor (vegen en operators machines) ^{2,3)}	50% v/d meetduur geen activiteit, vermoedelijk ballast- bed vooraf besproeid	Droog, onbewolkt, 15 °C, 73%, 1 m/s
7	2C	13-6-2021 22:40-23:30	Zutphen, spoor	Kettinghor RM85 – zonder sproeien	Oude ballast			Vermoedelijk ballastbed vaoraaf besproeid	Droog, onbewolkt, 14 °C, 76 %, 1 m/s
8	1B	14-6-2021 02:30-2:55	Zutphen, spoor	Lossen ballast SALT wagons – haperend sproeisysteem	Meta- zandsteen Bremanger	Meelopend met de ballastwagens	Bediener van de loskleppen ²⁾	20% v/d meetduur geen activiteit, onbekend of ballast vooraf is besproeid	Droog, onbewolkt, 11 °C, 80%, 1 m/s

Nr. ⁵⁾	SEG	Datum Starttijd- Eindtijd ⁶⁾	Locatie	Activiteit	Type ballast	Beschrijving metingen		Beheersmaatregelen / Opmerkingen	Weer, temp., rel. vochtig- heid, wind
						stationair ¹⁾	persoonsgebonden		
9	1B	14-6-2021 03:00-03:30	Zutphen, spoor	Lossen ballast SALT wagons – sproeisysteem aan	Meta- zandsteen Bremanger	Meelopend met de ballastwagons		33% v/d meetduur geen activiteit, onbekend of ballast vooraf is besproeid	Droog, onbewolkt, 11 °C, 86%, 1 m/s
10	2A	14-6-2021 14:10-14:30	Zutphen, spoor	Stopmachine 4X	Kwartsdioriet Tau	Meelopend naast de machine	-	Droge ballast, veel stofvorming	Droog, betrokken, 28 °C, 31%, 4 m/s
11	2A	14-6-2021 15:20-15:50	Zutphen, wissels	Stopmachine 4S	Meta- zandsteen Bremanger	Meelopend naast de machine	(Stationaire meting is schaduwmeting bediener ³⁾)	Bediener liep 50% v/d tijd mee met de machine om proces te controleren	Droog, betrokken, 28 °C, 27%, 3 m/s
12	2B / 5 / 7	14-6-2021 15:15-16:45	Zutphen, wissels	Profileermachine BDS – sproeisysteem aan	Meta- zandsteen Bremanger	Meelopend met de machine, vooraan (onder de cabine) en achteraan (bij de borstel)	Achterkant BDS; BBD-er (treinbegeleider); achtergrondmeting op ca. 5 m. ⁴⁾	Borstel BDS is niet gebruikt, bij persoonlijke metingen 50% v/d meetduur geen activiteit	Droog, betrokken, 28 °C, 27%, 3 m/s
13	9	16-6-2021 06:00-08:30	Zutphen, spoor	1e treinpassages	Meta- zandsteen Bremanger	Benedenwinds dicht op het spoor	-	6 sneltreinen (ICs), 5 stoptreinen (Arriva) en 1 goederen trein	Droog, half bewolkt, 21 °C, 57%, 3 m/s
14	1A	27-6-2021 04:00-06:00	Alkmaar, spoor	Lossen ballast FACCS wagons	Kwartsmicro dioriet Quenast	Meelopend met de ballastwagons	-	Onbekend of ballast vooraf extra is besproeid	Droog, 16 °C, 96%, 3 m/s
15	1B / 5 / 7	27-6-2021 10:00-12:30	Alkmaar, spoor	Lossen ballast SALT wagons	Meta- zandsteen Bremanger	Meelopend met de ballastwagons	Twee bedieners van de loskleppen; BBD- er (treinbegeleider); achtergrond op ca. 5 m. van het lossen ⁴⁾	Vlak voor het lossen is de ballast extra besproeid	Droog, 23 °C, 70%, 7 m/s
16	4B / 5	22-7-2021 06:50-10:00	Lunteren, depot	Lossen vrachtwagens in depot	Onbekend	Benedenwinds van het storten in depot	-	15% v/d meetduur geen activiteit	Droog, wisselend bewolkt, 18 °C, 78%, 3 m/s

Nr. ⁵⁾	SEG	Datum Starttijd- Eindtijd ⁶⁾	Locatie	Activiteit	Type ballast	Beschrijving metingen		Beheersmaatregelen / Opmerkingen	Weer, temp., rel. vochtig- heid, wind
						stationair ¹⁾	persoonsgebonden		
17	4B / 5	22-7-2021 09:40-10:20	Lunteren, depot	Beladen vrachtwagens met shovel	Recycle ballast GBN	Benedenwinds tijdens beladen vrachtwagens	-	Depot van tevoren besproeid	Droog, half tot zwaar bewolkt, 20 °C, 68%, 3 m/s
18	4B / 5	22-7-2021 06:00-10:20	Barneveld, spoor	Beladen vrachtwagens met kraan na ontgraving	Oude ballast	benedenwinds van het beladen vrachtwagens	-	Ballastbed is besproeid voorafgaand aan ontgraving	Droog, wisselend bewolkt, 18 °C, 78%, 3 m/s
19	4B / 5	22-7-2021 09:20-10:30	Barneveld, spoor	Lossen vrachtwagens en beladen lorriebak met krol	Recycle ballast GBN	benedenwinds van het lossen vrachtwagens en het beladen van de lorriebak	-	Voorafgaand aan lossen zijn vrachtwagens extra besproeid	Droog, half tot zwaar bewolkt, 20 °C, 68%, 3 m/s
20	4A	22-7-2021 04:30-11:15	Barneveld, spoor	Conventioneel ontgraven en profileren met shovel	Recycle ballast GBN	-	Cabine shovel (deur open)	Oud ballastbed en nieuwe ballast zijn besproeid	Droog, wisselend bewolkt, 18 °C, 80%, 2 m/s
21	1A / 7	23-7-2021 22:20-23:40	Barneveld, wissels	Lossen ballast met FACCS wagons	Kwartsdioriet Tau	Meelopend met de ballastwagons	Twee bedieners van de schuiven; schaduwmeting dichtbij het lossen ³⁾ ; achtergrond op ca. 5 m. van machine ⁴⁾	50% v/d meetduur geen activiteit, voorafgaand aan lossen is ballast 2x besproeid	Droog, betrokken, 16 °C, 82%, 4 m/s
22	5	23/24-7- 2021 23:20-01:30	Barneveld, wissels	Bijstorten ballast met krol vanuit kleine depots op spoor	Kwartsdioriet Tau	-	Cabine krol (deur open)	Ballast redelijk vochtig	Droog, betrokken, 15 °C, 86%, 3 m/s
23	2A / 7	24-7-2021 01:15-02:45	Barneveld, wissels	Stopmachine 4S	Kwartsdioriet Tau	-	Cabine stopmachine (dicht); operator buiten naast machine; schaduw- meting bemanning naast stopmachine ³⁾ ;	Van te voren is het baanvak besproeid met water	Droog, betrokken, 14 °C, 90%, 3 m/s

Nr. ⁵⁾	SEG	Datum Starttijd- Eindtijd ⁶⁾	Locatie	Activiteit	Type ballast	Beschrijving metingen		Beheersmaatregelen / Opmerkingen	Weer, temp., rel. vochtig- heid, wind
						stationair ¹⁾	persoonsgebonden		
							achtergrondmeting op ca. 5 m. van machine ⁴⁾		
24	7	23/24-7-2021 22:20-03:00	Barneveld, wissels	Lossen (21) en 'stoppen' ballast (23)	Kwartsdioriet Tau	-	Achtergrondmeting op ca. 5 m. bij twee activiteiten (zie nrs. 21 en 23) ⁴⁾	-	Droog, betrokken, 14 °C, 88%, 3 m/s
25	1A	24-7-2021 02:20-03:20	Barneveld, wissels	Lossen ballast met FACCS wagons	Kwartsdioriet Tau	Meelopend met de ballastwagons	-	Voorafgaand aan lossen is de ballast extra besproeid	Droog, wisselend bewolkt, 14 °C, 92%, 3 m/s
26	4A / 4B	25-7-2021 16:10-18:20	Lunteren, schouwpad	Lossen padmateriaal met krol vanuit lorriebak	Granodioriet Jelsa (padmateriaal 0-8mm)	Meelopend tijdens storten vanuit lorriebak	Cabine krol (deur open)	Het depot met padmateriaal is besproeid met water	Droog, half bewolkt, 23 °C, 65%, 4 m/s
27	4B	25-7-2021 16:10-18:20	Lunteren, schouwpad	Conventioneel profileren met krol en schuifmal	Granodioriet Jelsa (padmateriaal 0-8mm)	Meelopend tijdens uitspreiden en profileren	-	Padmateriaal redelijk vochtig	Droog, half bewolkt, 23 °C, 65%, 4 m/s
28	3	25-7-2021 17:30-18:30	Lunteren, schouwpad	Handmatig stoppen met trilplaat	Granodioriet Jelsa (padmateriaal 0-8mm)	Bij trilplaat	Bediener trilplaat	Padmateriaal redelijk vochtig, 50% v/d meetduur persoonlijke meting geen activiteit	Droog, half bewolkt, 23 °C, 71%, 5 m/s
29	2A.1	11-8-2021 07:00-11:00	Amsterdam	Stopmachine 4S	Meta-zandsteen Bremanger	Meelopend met stok	2x uitvoerder buiten	Padmateriaal vooraf bevochtigd	Droog, zonnig, 20 °C, 74%, 4 m/s
30	2B.1	11-8-2021 07:00-11:00	Amsterdam	Profileermachine BDS 2000	Meta-zandsteen Bremanger	Meelopend tijdens bijstorten; Meelopend tijdens egaliseren	1x uitvoerder buiten	Padmateriaal vooraf bevochtigd	Droog, zonnig, 20 °C, 74%, 4 m/s
31	4A	11-8-2021 07:00-11:00	Amsterdam	Cabine krol - bijstorten ballast, verslepen rijplaten	Meta-zandsteen Bremanger	-	Cabine krol	Padmateriaal vooraf bevochtigd	Droog, zonnig, 20 °C, 74%, 4 m/s

Nr. ⁵⁾	SEG	Datum Starttijd- Eindtijd ⁶⁾	Locatie	Activiteit	Type ballast	Beschrijving metingen		Beheersmaatregelen / Opmerkingen	Weer, temp., rel. vochtig- heid, wind
						stationair ¹⁾	persoonsgebonden		
32	1A.1 / 1A.2 / 5 / 6	15-4-2022 16:00-18:30	Heerlen	Lossen ballast met FACCS wagons	Kwartsdioriet Tau + Basaniet Nickenich (kwartsloos)	-	3 lossers; 1 BBD'er; 1 controleur; 1 machinist	Vooraf: ballast in wagons tweemaal nat gemaakt; tijdens: geen bevochtiging	Droog, zonnig, 12 °C, 71%, 4 m/s
33	1B / 5 / 6	1-5-2022 15:52-17:05	Hengelo	Lossen ballast met SALT wagons	Meta- zandsteen Bremanger	-	2 lossers; 1 BBD'er; 1 machinist	Vooraf: geen bevochtiging; tijdens: geen bevochtiging	Droog, zonnig, 13 °C, 51%, 1 m/s
34	2A.1 / 2A.2 / 5 / 6	2-5-2022 9:44-11:16	Oldenzaal	Stopmachine SPR Unimat 9	Meta- zandsteen Bremanger	-	1 uitvoerder buiten; 1 uitvoerder binnen; 1 BBD'er; 1 machinist	Vooraf: geen bevochtiging; tijdens: geen bevochtiging	Droog, zonnig, 16 °C, 50%, 3 m/s
35	2A.1 / 2A.2 / 6	2-5-2022 11:50-13:15	Oldenzaal	Stopmachine Unimat 104	Meta- zandsteen Bremanger	-	1 uitvoerder buiten (schaduwmeting); 1 uitvoerder binnen; 1 machinist	Vooraf: ballastbed bevochtigd; tijdens: geen bevochtiging	Droog, zonnig, 17 °C, 44%, 3 m/s
36	2C.1 / 2C.2 / 2C.3 / 5 / 6	25-5-2022 08:05-09:04	Ruurlo	Kettinghor RM- 85 met sproeien	Recycle ballast GBN	-	3 uitvoerders buiten; 1 worteldoek legger; 1 uitvoerder binnen; 1 BBD'er; 1 machinist	Vooraf: geen bevochtiging; tijdens: sproei-installatie	Droog, zonnig, 15 °C, 71%, 4 m/s
37	1B / 5 / 6	13-7-2022 21:03-21:49	Amersfoort	Lossen ballast met SALT wagons	Meta- zandsteen Bremanger	-	2 lossers; 1 BBD'er; 1 machinist	Vooraf: geen bevochtiging; tijdens: sproei-installatie	Droog, zonnig, 16 °C, 84%, 2 m/s
38	2A.1 / 2A.2 / 2A.3 / 5 / 6	18-7-2022 8:56-14:30	Eindhoven	Stopmachine Unimat 103	Onbekend	-	1 uitvoerder buiten; 1 uitvoerder binnen; 2 maatvoerders; 1 BBD'er; 1 machinist	Vooraf: ballastbed bevochtigd; tijdens: geen bevochtiging	Droog, zonnig, 31 °C, 29%, 3 m/s
39	2A.3	29-7-2022 12:26-14:45	Culemborg	Stopmachine Dynamic Stopfexpress 09-4x	Onbekend	-	2 maatvoerders	Vooraf: geen bevochtiging; tijdens: geen bevochtiging	Droog, zonnig, 23 °C, 51%, 4 m/s
40	1A.1 / 1A.2 / 5	29-7-2022 12:26-14:45	Culemborg	Lossen ballast met FACCS wagons	Onbekend	-	4 lossers; 2 controleurs lossen; 1 BBD'er	Vooraf: ballastbed bevochtigd; tijdens: geen bevochtiging	Droog, zonnig, 23 °C, 51%, 4 m/s
41	2B.2	29-7-2022 12:26-14:45	Culemborg	Profileermachine BDS 2000	Onbekend	-	1 uitvoerder binnen	Vooraf: ballastbed bevochtigd; tijdens: geen bevochtiging	Droog, zonnig, 23 °C, 51%, 4 m/s

Nr. ⁵⁾	SEG	Datum Starttijd- Eindtijd ⁶⁾	Locatie	Activiteit	Type ballast	Beschrijving metingen		Beheersmaatregelen / Opmerkingen	Weer, temp., rel. vochtig- heid, wind
						stationair ¹⁾	persoonsgebonden		
42	2C.1 / 2C.2 / 2C.3	30-8-2022 9:17-12:00	Voerendaal	Kettinghor RM-85 met sproeien	Recycle ballast GBN + Basaniet Nickenich	-	2 uitvoerders buiten; 5 worteldoek leggers; 1 uitvoerder binnen	Vooraf: geen bevochtiging; tijdens: sproei-installatie	Droog, zonnig, 25 °C, 44%, 6 m/s
43	2B.1 / 2B.2	31-8-2022 13:02-13:55	Voerendaal	Profileermachine BDS 2000	Recycle ballast GBN + Basaniet Nickenich (kwartsloos)	-	2 uitvoerders buiten; 1 uitvoerder binnen	Vooraf: geen bevochtiging; tijdens: sproei-installatie stortbak; borstel-machine stond aan	Droog, zonnig, 24 °C, 53%, 6 m/s
44	2C.1 / 2C.2	31-8-2022 15:19-17:09	Schin op Geul	Kettinghor RM-85 met sproeien	Recycle ballast GBN + Basaniet Nickenich	-	2 uitvoerders buiten; 1 uitvoerder binnen	Vooraf: geen bevochtiging; tijdens: sproei-installatie	Droog, zonnig, 24 °C, 50%, 5 m/s
45	1B	31-8-2022 18:22-19:20	Schin op Geul	Lossen ballast met SALT wagons	Recycle ballast GBN + Basaniet Nickenich (kwartsloos)	-	3 lossers	Vooraf: geen bevochtiging; tijdens: sproei-installatie	Droog, zonnig, 20 °C, 61%, 3 m/s
46	2B.1 / 2B.2	1-9-2022 10:50-12:13	Schin op Geul	Profileermachine BDS 2000	Recycle ballast GBN + Basaniet Nickenich (kwartsloos)	-	2 uitvoerders buiten; 1 uitvoerder binnen	Vooraf: geen bevochtiging; tijdens: sproei-installatie stortbak; borstel-machine stond uit	Droog, zonnig, 24 °C, 36%, 6 m/s

1) Stationaire metingen zijn op twee manieren uitgevoerd: bij activiteiten op een vaste locatie, zoals o.a. ontgraven, laden/lossen, conventioneel stoppen/profileren, zijn de meetinstrumenten benedenwinds op een statief geplaatst; bij loswagons en onderhoudsmachines zijn de meetinstrumenten (filterkoppen) op het uiteinde van een stok gemonteerd die tijdens het meelopen met de hand wordt geïmponeerd in de buurt van de stofvorming.

2) De blootstellingsmeting is een gecombineerde meting bij verschillende activiteiten/omstandigheden.

3) Een medewerker van TNO draagt het meetinstrument waarbij hij/zij zich continu bevindt in dezelfde zone als de werknemer belast met specifieke onderhoudsactiviteiten.

4) Achtergrondmeting is een 'worst-case' simulatie voor werknemers die op het naastgelegen spoor aan het werk zijn (bijvoorbeeld spoorleggers, grondwerkers, monteurs, etc.).

5) Het unieke nummer van de meet sessie bij een bepaalde activiteit; dit nummer komt terug in de tabellen met gedetailleerde meetresultaten (Tabel C.1-C.3 in Bijlage C)).

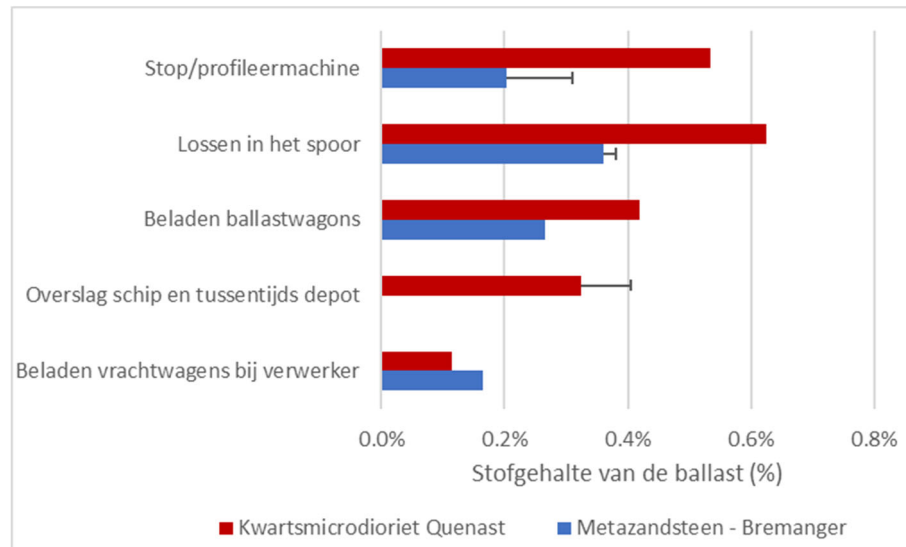
6) De start- en eindtijd van de betreffende meet sessie. Tijdens een meet sessie zijn één of meerdere (persoonlijke) metingen verzameld, de meetduur per meting binnen een meet sessie varieert.

5.2 Effect van transport en handeling op het stofgehalte van ballast en stofemissie

De metingen tijdens transport en handeling van metazandsteen ballast uit Bremanger zijn op dezelfde manier uitgevoerd als de metingen met kwartsmicrodioriet ballast uit Quenast in Fase 1 van het onderzoek (Tromp, 2021). In Figuren 1 – 4 zijn voor metazandsteen en kwartsmicrodioriet de stofgehalten van de ballast en de gemeten concentraties inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwartsstof per activiteit met elkaar vergeleken. De gedetailleerde resultaten van de stationaire metingen met metazandsteen ballast en overige typen ballast zijn weergegeven in respectievelijk Tabel C.1 en Tabel C.2 in Bijlage C: Gedetailleerde meetresultaten.

Aangezien het in beide gevallen gaat om momentopnames, kunnen aan deze vergelijking géén vergaande conclusies worden verbonden. Concentraties zijn sterk afhankelijk van de omstandigheden (onder andere weer) en de snelheid waarmee de activiteiten worden uitgevoerd (onder andere stortsnelheid). Dit betekent dat de resultaten zoals gepresenteerd in onderstaande figuren alleen een indicatief karakter hebben.

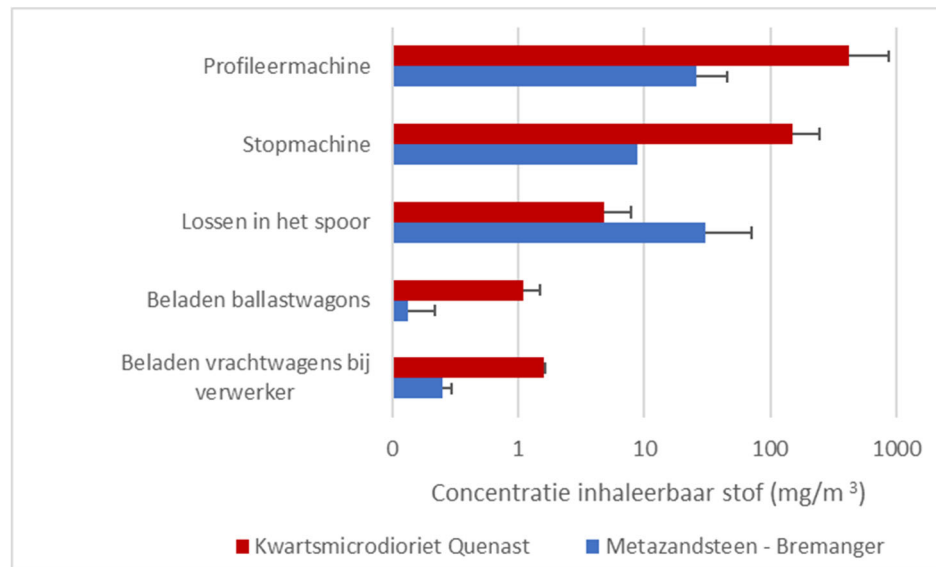
Met metazandsteen ballast uit Bremanger komen minder overslagmomenten voor, aangezien de ballast direct vanaf de verwerker per vrachtwagen of schip in de SALT wagons worden gelost. Deze SALT wagons zijn vervolgens van Amsterdam naar Zutphen respectievelijk Alkmaar gereden. In Fase 1 van het onderzoek waren voor de kwartsmicrodioriet ballast uit Quenast twee extra overslagmomenten nodig om de ballast vanuit Quenast naar het baanvak in Geldermalsen te krijgen: overslag naar een schip in Tubeke (België) en overslag naar een tijdelijk depot in Tiel. Deze extra overslagmomenten hebben bijgedragen aan een groter stofgehalte van de ballast in de baan bij het lossen en tijdens het stoppen en profileren. Het stofgehalte van de ballast na het stoppen en profileren is lager dan na het lossen; dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat tijdens het stoppen en profileren meer 'oud' stof (fines) uit de ballast vrijkomt en naar de lucht wordt uitgestoten dan er door de activiteiten extra wordt gevormd (door het schuren van de ballast stenen). Hierdoor kan het stofgehalte in het genomen ballastmonster zijn afgenomen. Het is ook mogelijk dat uitspoeling van het breekstof naar de ondergrond plaatsvindt, waardoor dit breekstof niet wordt teruggevonden in de monsters van de gesteenten die zijn verzameld tijdens de meetdagen.



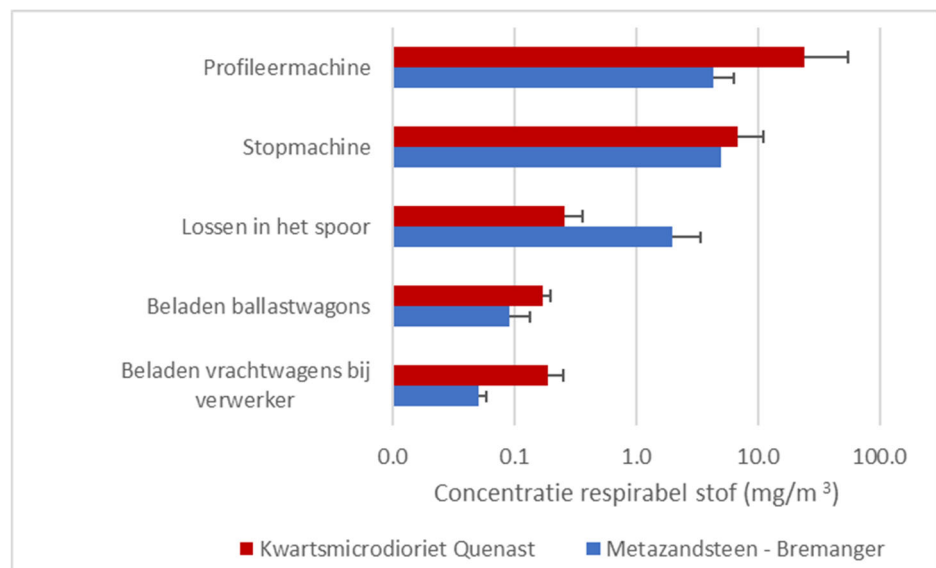
Figuur 1 Vergelijking van het stofgehalte (< 63 µm) gedurende transport en handling in metazandsteen ballast uit Bremanger en kwartsmicrodioriet ballast uit Quenast.

Bij de emissiemetingen (Figuren 2-4) uit Fase 1 van het onderzoek is te zien dat de concentraties inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwartsstof bij het beladen van vrachtwagens bij de verwerker en overslag naar de ballastwagens voor metazandsteen ballast lager zijn dan voor kwartsmicrodioriet ballast. Dit is in overeenstemming met gemeten concentraties tijdens de simulatiemetingen met kwartsmicrodioriet en metazandsteen in Fase 1 van het onderzoek. De gemeten concentraties voor metazandsteen waren daar ook lager dan voor kwartsmicrodioriet (Tromp, 2021).

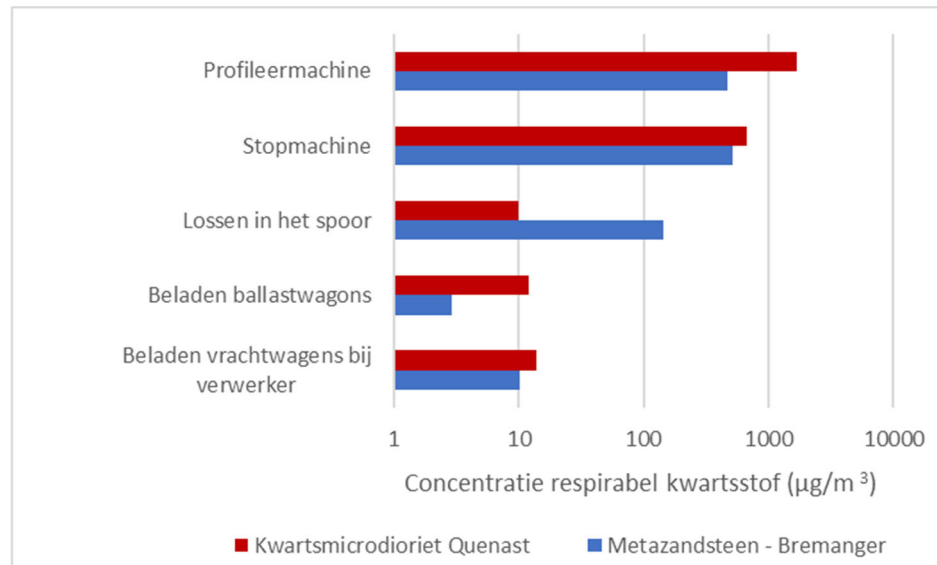
In beide gevallen blijven de emissieconcentraties laag en ruim onder de grenswaarden van 4 en 1,25 mg/m³ voor inhaleerbaar en respirabel stof respectievelijk (zie Tabel 5). Tijdens het lossen in het spoor zijn de concentraties bij metazandsteen ballast juist hoger dan bij kwartsmicrodioriet ballast. Dit heeft vooral te maken met verschillen in losmethoden. De FACCS wagons (kwartsmicrodioriet) zijn vlak voor het lossen beladen uit een tijdelijk depot, waarbij de ballast wordt besproeid met water. De SALT wagons (metazandsteen) worden normaal gesproken vooraf niet extra besproeid, maar daarentegen wordt tijdens het lossen gebruik gemaakt van een sproeisysteem. In Zutphen is gebleken dat dit sproeisysteem soms hapert. Deze verschillen worden ook duidelijk als het vochtgehalte van de ballast met elkaar wordt vergeleken. Het vochtgehalte van de kwartsmicrodioriet ballast in de baan na het lossen was 0,62%, terwijl de metazandsteen ballast een vochtgehalte heeft van 0,17%. In Fase 3 van het onderzoek zijn extra emissiemetingen uitgevoerd tijdens loswerkzaamheden met FACCS wagons. Met de kanttekening dat het type ballast anders kan zijn geweest, blijkt dat de gemeten concentraties aan respirabel stof (ca. 1 mg/m³) en respirabel kwartsstof (ca. 100 µg/m³) hoger liggen dan de concentraties zoals zijn gemeten in Fase 1 van het onderzoek, en vergelijkbaar zijn met de gemeten concentraties tijdens het lossen met SALT wagons. Dit geldt ook voor de concentraties respirabel stof en respirabel kwartsstof die zijn gemeten tijdens activiteiten met de stop- en profileermachine. Alleen voor inhaleerbaar stof liggen de concentraties bij de kwartsmicrodioriet ballast duidelijk hoger dan bij de metazandsteen ballast.



Figuur 2 Vergelijking van de gemeten concentraties inhaleerbaar stof, in mg/m³ en op een logaritmische schaal, bij vergelijkbare handelingen met metazandsteen ballast uit Bremanger en kwartsmicrodioriet ballast uit Quenast.



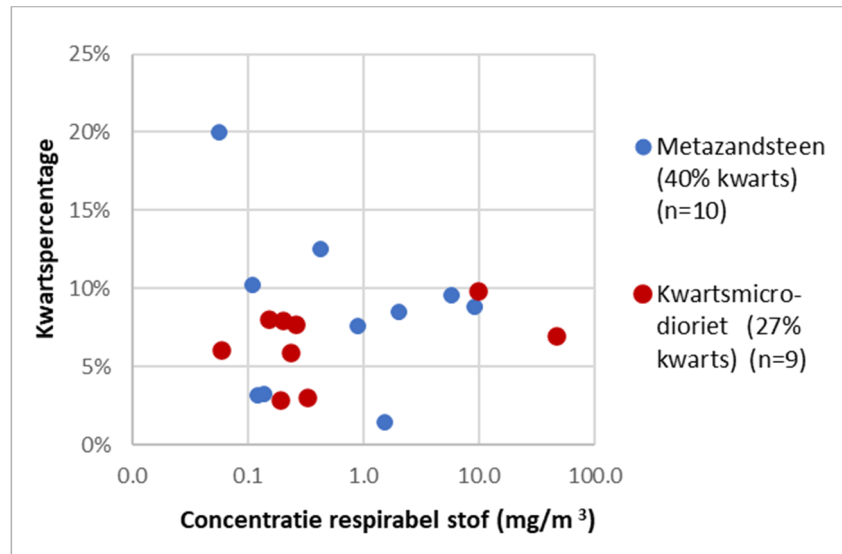
Figuur 3 Vergelijking van de gemeten concentraties respirabel stof, in mg/m³ en op een logaritmische schaal, bij vergelijkbare handelingen met metazandsteen ballast uit Bremanger en kwartsmicrodioriet ballast uit Quenast.



Figuur 4 Vergelijking van de concentraties aan respirabel kwartsstof, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en op een logaritmische schaal, bij vergelijkbare handelingen met metazandsteen ballast uit Bremanger en kwartsmicrodioriet ballast uit Quenast.

5.2.1 Verhouding kwartsgehalte in ballast en respirabel stof

De metazandsteen uit Bremanger heeft een hoger percentage kwarts dan de kwartsmicrodioriet uit Quenast, respectievelijk 40% en 27%. Dit hogere kwartspercentage komt niet tot uiting in de concentraties respirabel kwartsstof tijdens de emissiemetingen. Dit is in overeenstemming met de bevindingen in Fase 1 van dit onderzoek. Uit de simulatiemetingen is toen gebleken dat er geen sprake is van een goede correlatie tussen het percentage kwarts in ballast en het percentage kwartsstof in respirabel stof (Tromp, 2021; Esveld & Tromp, 2023). Ter bevestiging zijn op basis van de resultaten van de metingen in de praktijk zoals verzameld in Fase 1 en Fase 3 de kwartspercentages in respirabel stof bij activiteiten met kwartsmicrodioriet en metazandsteen met elkaar vergeleken (zie Figuur 5). Hierbij is het percentage respirabel kwartsstof in respirabel stof uitgezet tegen de concentratie respirabel stof om te kunnen beoordelen of een hoge dan wel lage stofbelasting invloed heeft op het percentage respirabel kwartsstof. Er is slechts een klein, maar statistisch niet significant, verschil tussen de percentages kwarts in metazandsteen ($8,6 \pm 5,6\%$) en kwartsmicrodioriet ($6,5 \pm 2,3\%$); de stofbelasting heeft geen invloed op dit percentage.



Figuur 5 Correlatiediagram van het kwartspercentage in respirabel stof vs de concentratie respirabel stof gemeten bij de diverse activiteiten met metazandsteen ballast uit Bremanger en kwartsmicrodioriet ballast uit Quenast.

5.2.2 Effect van vocht- en breekstofgehalte op het vrijkomen van stof

In dit onderzoek is geprobeerd om beter inzicht te krijgen in het effect van bevochtigen op de mate van stofemissie. Hiertoe zijn direct na het bemeten van de activiteiten/handelingen ook monsters van de betreffende ballast genomen voor de bepaling van het vochtgehalte (zie Tabel 7). Voor een aantal gesteenten verzameld tijdens en na de metingen uitgevoerd in 2021 is ook de breekstoffractie bepaald (zie Tabel 7), om te controleren of de breekstoffractie toeneemt bij meer activiteiten met ballast. Voor de bemonsterde gesteenten in 2022 is alleen het percentage vocht bepaald.

Tabel 7 Het vochtgehalte, massapercentage < 63 µm (fines) en de zeeffractie verdeling (na het natzeven) van het ballast gesteente na diverse handelingen

Nr. ¹⁾	Locatie / activiteit	Type ballast	Percentage vocht (%)	Massapercentage v/d zeeffracties			
				<63µm	<63µm - 1mm	1 – 10 mm	>10m m
1	Amsterdam, voor beladen vrachtwagens	Metazandsteen Bremanger	0,54 ± 0,11	0,17%	0,12%	0,02%	99,7%
2	Amsterdam, voor beladen SALT wagons	Metazandsteen Bremanger	0,54 ± 0,01	0,27%	0,20%	0,08%	99,4%
8 / 9	Zutphen, lossen SALT	Metazandsteen Bremanger	0,17 ± 0,01	0,34%	0,24%	0,02%	99,4%
11 / 12	Zutphen, stoppen/profilieren	Metazandsteen Bremanger	0,11 ± 0,11	0,08%	0,06%	0,00%	99,9%
15	Alkmaar, lossen SALT	Metazandsteen Bremanger	0,29 ± 0,05	0,37%	0,22%	0,04%	99,4%
16	Lunteren, lossen vrachtwagens	Recycle ballast GBN	0,30 ± 0,06	0,64%	0,37%	0,06%	98,9%
17	Lunteren, beladen vrachtwagens	Recycle ballast GBN	1,2 ± 0,2	0,83%	6,55%	0,17%	92,4%

Nr. ¹⁾	Locatie / activiteit	Type ballast	Percentage vocht (%)	Massapercentage v/d zee fracties			
				<63µm	<63µm - 1mm	1 – 10 mm	>10m m
19	Barneveld, lossen vrachtwagens	Recycle ballast GBN	1,5 ± 0,3	0,04%	0,23%	0,01%	99,7%
23	Barneveld, stoppen	Kwartsdioriet Tau	0,22 ± 0,03	0,07%	0,07%	0,03%	99,8%
26	Lunteren, lossen met krol	Granodioriet Jelsa (0-8mm)	0,23 ± 0,01	0,85%	5,55%	75,0%	18,6%
29	Amsterdam, stoppen	Metazandsteen Bremanger	0,32 ± 0,08	0,26%	0,17%	0,01%	99,6%
30	Amsterdam, profileren	Metazandsteen Bremanger	0,13 ± 0,01	0,27%	0,19%	0,01%	99,5%
32	Heerlen, Lossen FACCS	Kwartsdioriet Tau	0,26 ± 0,00	-	-	-	-
33	Hengelo, Lossen SALT	Metazandsteen Bremanger	< 0,05	-	-	-	-
34	Oldenzaal, stoppen 1	Metazandsteen Bremanger	0,03 ± 0,01	-	-	-	-
35	Oldenzaal, stoppen 2	Metazandsteen Bremanger	0,10 ± 0,03	-	-	-	-
36	Ruurlo, kettinghor	Recycle ballast GBN	0,16 ± 0,01	-	-	-	-
37	Amersfoort, lossen SALT	Metazandsteen Bremanger	0,25 ± 0,03	-	-	-	-
38	Eindhoven, stoppen	Gemengd	< 0,05	-	-	-	-
39 / 40 / 41	Culemborg, stoppen/profileren	Onbekend	0,54 ± 0,03	-	-	-	-
42	Voerendaal, kettinghor	Recycle ballast GBN + Basaniet Nickenich	0,24 ± 0,03	-	-	-	-
43	Voerendaal, profileren	Recycle ballast GBN + Basaniet Nickenich	0,13 ± 0,01	-	-	-	-
44	Schin op Geul, kettinghor	Recycle ballast GBN + Basaniet Nickenich	0,60 ± 0,37	-	-	-	-
45	Schin op Geul, lossen SALT	Recycle ballast GBN + Basaniet Nickenich	0,66 ± 0,01	-	-	-	-

1) Het unieke nummer van de meetsessie bij een bepaalde activiteit; dit nummer komt terug in Tabel 6 (overzichtstabel) en tabellen met gedetailleerde meetresultaten (Tabel C.1-C.3 in Bijlage C).

Conform het plan van aanpak waren bij onderstaande activiteiten dubbele meetsessies gepland waarbij met en zonder bevochtigen/besproeien zou worden gemeten:

- Lossen met SALT wagons met en zonder sproei installatie;
- Stoppen/profileren met en zonder voorafgaand besproeien ballastbed;
- Kettinghor met en zonder sproei installatie bij de ketting.

Bij alle bovengenoemde activiteiten was het wegens omstandigheden niet mogelijk om een “droge” situatie (baseline scenario) te bemeten. Tijdens het lossen met SALT

wagons in Zutphen werd tijdens de eerste meetsessie de sproei-installatie gebruikt, maar omdat de installatie haperde is in meerdere stukken van het baanvak de ballast zonder sproeien gelost, waarbij sprake was van veel stofvorming. Daarna is uit veiligheidsoverwegingen besloten om geen meting uit te voeren waarbij het sproeisysteem volledig was uitgeschakeld. Wanneer de resultaten van de metingen waarbij gebruik is gemaakt van een sproei-installatie worden vergeleken met de resultaten van de metingen waarbij de sproei-installatie haperde blijken de concentraties inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwartsstof respectievelijk 90%, 70% en 80% lager te liggen in geval van een werkende sproei-installatie.

In Alkmaar zijn de metingen waarbij gebruik werd gemaakt van de sproei-installatie herhaald, waarbij de ballast in de wagons ook vooraf werd besproeid met water. De daarbij gemeten concentraties aan inhaleerbaar en respirabel stof laten echter geen duidelijk effect zien van deze extra maatregel ten opzichte van de metingen in Zutphen. Het is mogelijk dat de sproei-installatie op de SALT wagons als zodanig al goed functioneert, echter er moet wel rekening worden gehouden met mogelijk andere omstandigheden, zoals weersconditie en stortsnelheid. Daarnaast is onduidelijk of in Zutphen ook de ballastwagons vooraf zijn besproeid met water. Ook bleken in Zutphen de wagonnummers deels anders te zijn dan de beladen wagons in Amsterdam. Bij navraag bleek het om twee verschillende partijen te gaan, waarvan een deel uit Amsterdam en een deel afkomstig van een oudere partij die langere tijd op een andere locatie was opgeslagen.

In het verleden zijn ook metingen verricht bij het lossen van ballast met SALT wagons met en zonder gebruik van een sproei-installatie om de ballast te bevochtigen. Gerapporteerde reductiepercentages variëren van 60-70% (Gorter, 2016) tot 80-90% (de Jong, 2008). De studie van Arbo Advies Gorter is gebaseerd op persoonsgebonden metingen op twee verschillende trajecten waarbij geen rekening is gehouden met de stortsnelheid en effectieve meetduur. Wanneer hier wel rekening mee wordt gehouden zal de mate van reductie iets lager uit vallen: 30-50%.

In een studie van TNO (de Jong, 2008) zijn twee enkelvoudige emissiemetingen in hetzelfde traject uitgevoerd. Ook in dit onderzoek had het vooraf bevochtigen van de ballast in de wagons geen effect op de gemeten concentraties. In dit onderzoek is het baseline scenario (activiteiten met droge ballast in de wagons) echter bemeaten op een ander traject bij een veel lagere stortsnelheid (ca. 10% ten opzichte van maximale capaciteit), waardoor de situaties niet met elkaar kunnen worden vergeleken. De hierboven genoemde reductiefactoren bij het lossen met SALT wagons komen overigens redelijk goed overeen met het onderzoek dat in 1994 is uitgevoerd door NS Technisch Onderzoek, waarbij metingen zijn uitgevoerd bij het lossen van ballast met FCCPP wagons (NSTO, 1994). In Fase 1 zijn de resultaten van deze metingen in meer detail uitgewerkt, op basis waarvan reductiepercentages van ca. 70% tot meer dan 95% zijn bepaald, afhankelijk van de vochtigheid van de ballast (Tromp, 2021).

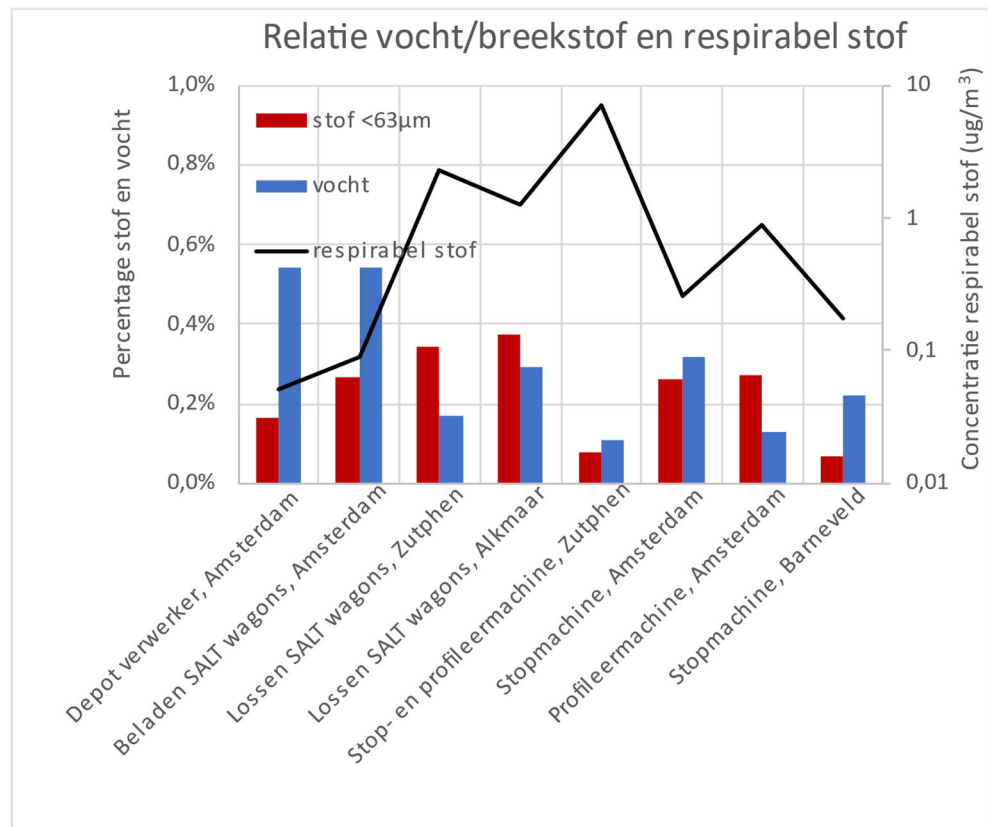
Op basis van de resultaten van een beperkt aantal metingen bij de activiteiten met de kettinghor lijkt geen sprake te zijn van een verschil in gemeten inhaleerbaar stof- en respirabel stofconcentraties tussen situaties waarbij de ballast tijdens de metingen wel of niet is bevochtigd met behulp van een sproei-installatie. Het ballastbed was echter altijd zichtbaar vochtig tijdens de metingen (ook zonder dat gebruik werd

gemaakt van de sproei-installatie). Het is onduidelijk of het ballastbed van te voren bewust is natgemaakt of dat het door regen nat geworden is. De gemeten concentraties bij activiteiten met de kettinghor zijn lager dan de gemeten concentraties tijdens activiteiten met de profileermachine, maar hoger dan bij de stopmachine. Buro Blauw (Blauw, 2010) heeft bij dezelfde activiteiten met de kettinghor ook enkele emissiemetingen uitgevoerd. De in dat onderzoek gerapporteerde concentraties respirabel stof en respirabel kwartsstof liggen ruim een factor 5 hoger dan de concentraties zoals zijn gemeten in het huidige onderzoek. Deze verschillen hangen wellicht deels samen met verschillen in het vochtgehalte van het ballastmateriaal waarmee is gewerkt, aangezien ten tijde van het onderzoek uit 2010 nog geen maatregelen met betrekking tot het nathouden van de ballast waren ingevoerd.

Ook bij de activiteiten met de stop- en profileermachine is het onduidelijk of het ballastbed vooraf is besproeid met water. In vergelijking met de metingen in Fase 1 liggen de gemeten concentraties inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwartsstof wel lager met respectievelijk een factor 10, 2 en 3.

Op basis van de resultaten van de metingen die in dit onderzoek zijn uitgevoerd is in Figuur 6 de relatie tussen het percentage stof (<63 µm, fines), het vochtgehalte (%) en de gemeten concentratie aan respirabel stof schematisch weergegeven. De resultaten bevestigen het beeld van het onderzoek tijdens Fase 1 met kwartsmicrodioriet gesteente. Tijdens de verschillende transporthandelingen die achtereenvolgens werden uitgevoerd neemt het percentage stof (fines) in de ballast steeds verder toe met alle opeenvolgende handelingen tot en met het lossen in de baan. Bij de stopmachine en profileermachine lijkt het percentage fines iets af te nemen; dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat tijdens het stoppen en profileren meer 'oud' stof (fines) uit de ballast vrijkomt en zich in de lucht verspreid dan er tijdens de uitvoering van de activiteiten extra wordt gevormd (door het tegen elkaar schuren van de ballast stenen). Op basis van de gegevens zoals gepresenteerd in Figuur 6 blijkt in algemene zin dat de gemeten concentratie respirabel stof toeneemt als het percentage stof in de ballast toeneemt en/of het vochtgehalte van de ballast afneemt, waarbij het vochtgehalte het meeste effect heeft op de mate van stofemissie.

Omdat het stof- en vochtgehalte tegelijkertijd van invloed zijn op de gemeten concentratie respirabel stof, is het moeilijk om te achterhalen wat het precieze effect van beide parameters op de mate van stofemissie is. Het generieke beeld dat ontstaat op basis van de resultaten van Fase 3 is echter wel vergelijkbaar met de bevindingen uit Fase 1 van het onderzoek met kwartsmicrodioriet (Tromp, 2021). Op basis van de enkele beschikbare observaties lijkt een verdubbeling van het percentage stof te resulteren in ongeveer een verdubbeling van de concentratie respirabel stof. Voor inhaleerbaar stof is dit effect minder duidelijk. Het vochtgehalte van de ballast heeft een grotere invloed op de gemeten stofconcentratie (dit is echter wel afhankelijk van de vochtigheid van het uitgangsmateriaal). Bij droog materiaal zal het bevochtigen van de ballast de stofemissie enorm reduceren, terwijl bij redelijk vochtige ballast (additioneel) bevochtigen van de ballast een geringere invloed zal hebben.



Figuur 6 Het vochtgehalte en percentage breekstof (<63µm) van de metazandsteen ballast na diverse handelingen (links), en de concentratie respirabel stof, in µg/m³ en op een logaritmische schaal (rechts) gemeten tijdens deze handelingen.

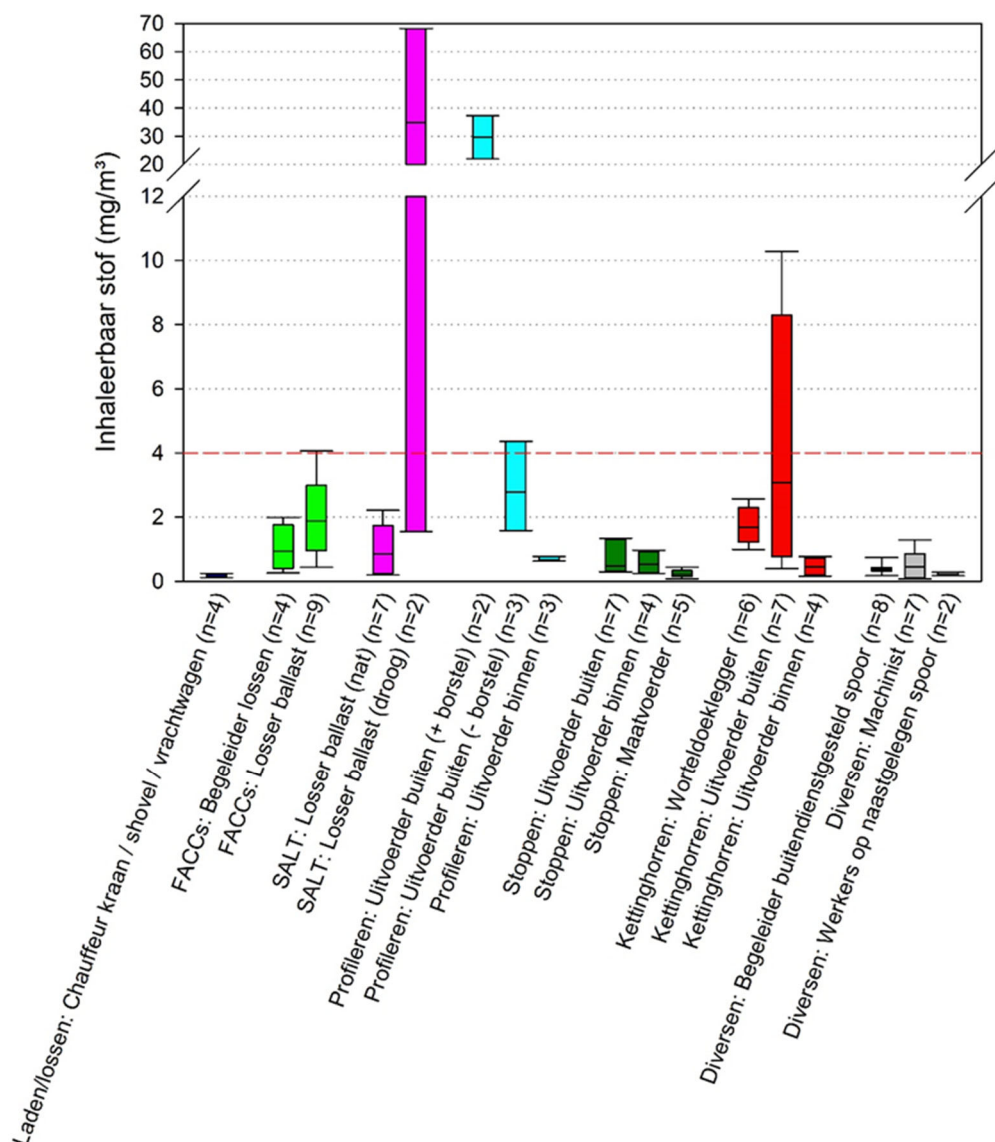
5.3 Persoonlijke blootstelling werknemers betrokken bij verwerking van ballast

5.3.1 Beschrijving resultaten persoonsgebonden metingen

In Tabel 8 wordt een overzicht gegeven van de resultaten van de activiteit- en taakgerichte persoonsgebonden metingen, oftewel de gemeten concentraties inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwartsstof, onderverdeeld naar activiteit en blootstellingsgroep (SEG). De resultaten worden descriptief weergegeven met behulp van het rekenkundig gemiddelde (AM), geometrisch gemiddelde (GM), geometrische standaarddeviatie (GSD), minimum (Min) en maximum (Max) van de gemeten concentraties. In de tabel zijn per activiteit tevens de maatgevende blootstellingsgroepen, de blootstellingsgroepen waarbij de (verwachte) mate van blootstelling het hoogst is, dikgedrukt weergegeven. Bij de activiteiten profileren, stoppen en kettinghorren betreft dit bijvoorbeeld de uitvoerder buiten. De gedetailleerde resultaten van de persoonsgebonden metingen zijn weergegeven in Tabel C.3 in Bijlage C.

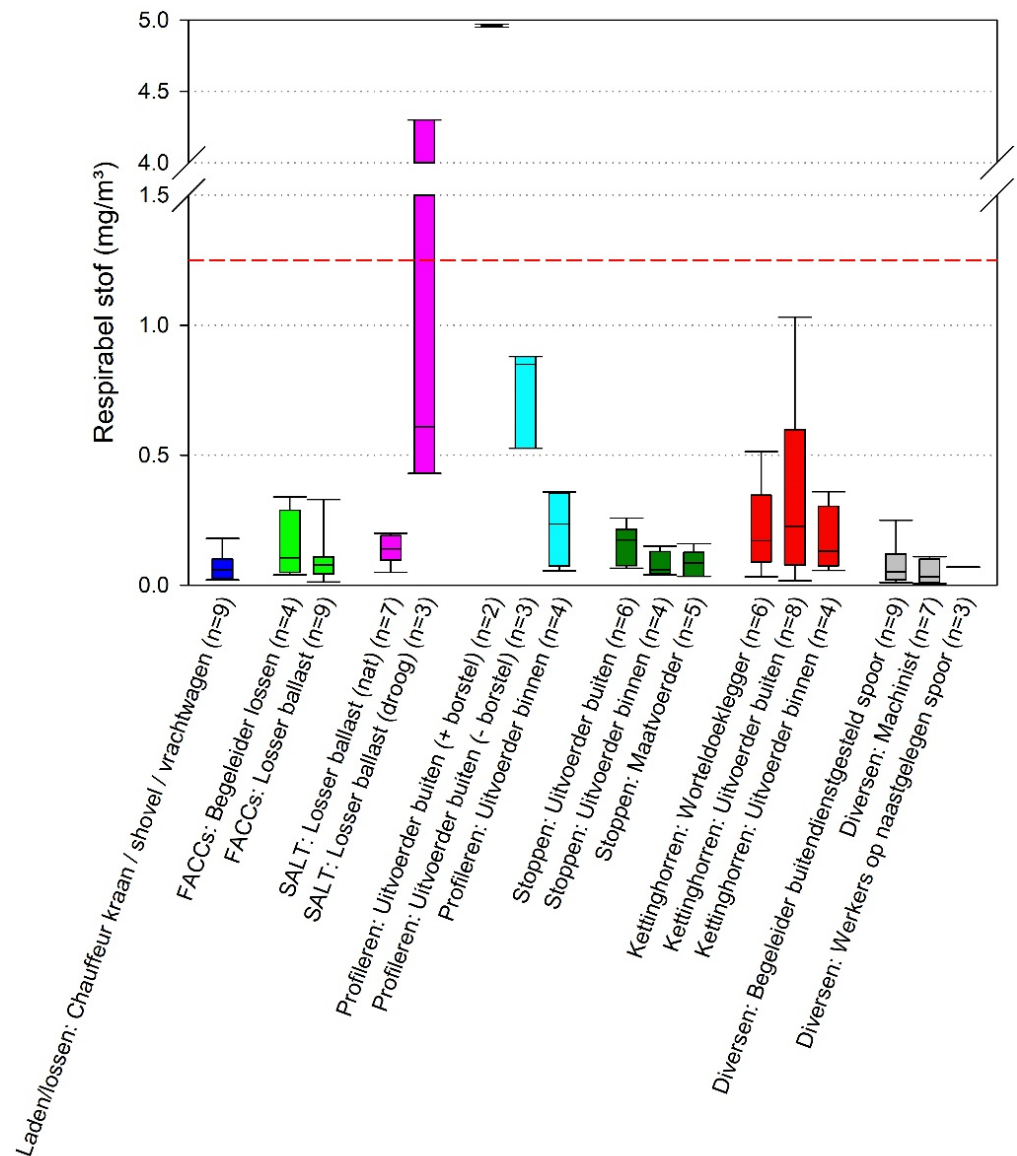
Daarnaast worden in Figuren 7-9 respectievelijk de gemeten concentraties inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwartsstof weergegeven. In deze boxplots zijn de taakgerichte persoonsgebonden metingen zoals verzameld in zowel Fase 1 als Fase 3 van het onderzoek opgenomen. De boxplots geven een beeld van de verdeling van de meetwaarden, op basis van de 25-, 50- (mediaan) en 75-

percentielen. Bijvoorbeeld, de 75-percentielwaarde geeft aan dat 75% van de meetwaarden lager is dan de aangegeven waarde, en dus 25% hoger is dan deze waarde. De onder- en bovenkant van de box vertegenwoordigen de 25- en 75-percentielen (kwartielen), 50% van de waarnemingen bevindt zich tussen deze twee lijnen. De mediaan of 50-percentiel wordt aangegeven met de streep in het midden. De buitenste horizontale streepjes buiten de box geven de minimale en maximale gemeten waarden aan. Als er te weinig meetwaarden beschikbaar zijn, worden de buitenste horizontale streepjes niet weergegeven en vertegenwoordigen de onder- en bovenkant van de box de minimale en maximale waarde. Om de resultaten van alle blootstellingsgroepen in één figuur weer te kunnen geven is in verband met de grote variatie in gemeten concentraties er voor gekozen om een schaalbreuk toe te passen, zodat de resultaten per blootstellingsgroep goed te onderscheiden zijn. De grenswaarde is weergegeven door middel van een rode lijn.

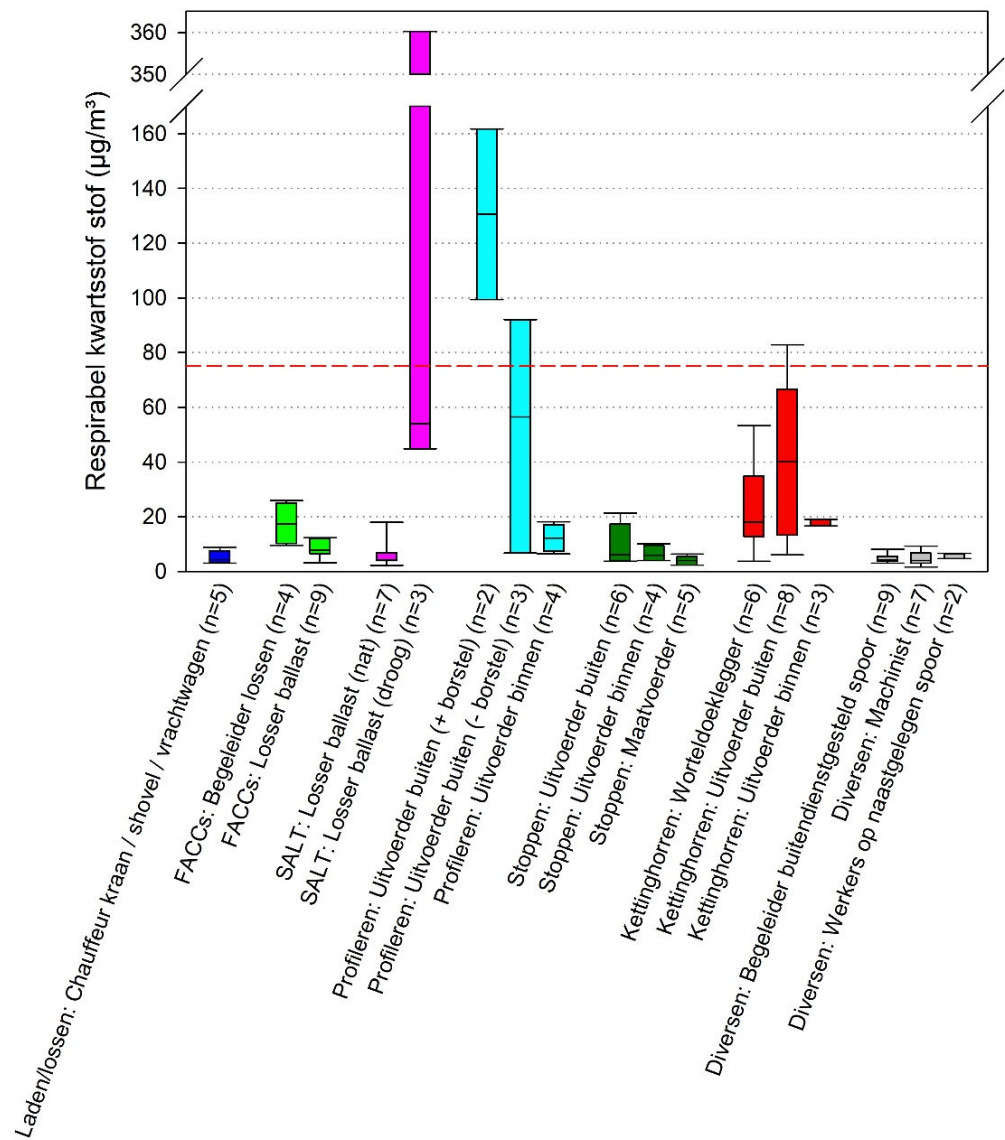


Figuur 7 Overzicht van gemeten concentraties inhaleerbaar stof (in mg/m^3) van taakgerichte persoonsgebonden metingen, onderverdeeld naar type activiteit en blootstellingsgroep. De rode lijn geeft de grenswaarde van $4 \text{ mg}/\text{m}^3$ weer. Let op de schaalbreuk tussen 12 en $20 \text{ mg}/\text{m}^3$.

Binnen de activiteit 'Lossen SALT' is in eerste instantie één blootstellingsgroep geïdentificeerd. Omdat tijdens het verzamelen van de metingen bleek dat een aantal keer de sproei-installatie voor het bevochtigen van de ballast niet goed functioneerde, is besloten om deze blootstellingsgroep op te delen op basis van het wel/niet goed bevochtigen van de ballast tijdens het lossen. Binnen de activiteit 'Profileren' is voor de blootstellingsgroep 'Uitvoerder buiten' in verband met de grote verschillen in gemeten stofconcentraties onderscheid gemaakt tussen situaties met en zonder een geactiveerde borstelmachine.



Figuur 8 Overzicht van gemeten concentraties respirabel stof (in mg/m^3) van taakgerichte persoonsgebonden metingen, onderverdeeld naar type activiteit en blootstellingsgroep. De rode lijn geeft de grenswaarde van $1,25 \text{ mg}/\text{m}^3$ weer. Let op de schaalbreuk tussen $1,5$ en $4 \text{ mg}/\text{m}^3$.



Figuur 9 Overzicht van gemeten concentraties respirabel kwartsstof (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) van taakgerichte persoonsgebonden metingen, onderverdeeld naar activiteit en blootstellingsgroep. De rode lijn geeft de wettelijke grenswaarde van $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ weer. Let op de schaalbreuk tussen 160 en $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabel 8 Overzicht van resultaten van de persoonsgebonden metingen per activiteit en blootstellingsgroep. Overige contextuele informatie en informatie over type ballast en vochtgehalte van de ballast is weergegeven in Tabellen 6 en 7.

Activiteit	Blootstellingsgroep *		Inhaleerbaar stof (mg/m ³)						Respirabel stof (mg/m ³)						Respirabel kwartsstof (µg/m ³)					
	Nr	Naam	N	AM	GM	GSD	Min	Max	N	AM	GM	GSD	Min	Max	N	AM	GM	GSD	Min	Max
Ontgraven, storten, laden & lossen	4A	Chauffeur/machinist kraan, krol, shovel, vrachtwagen, dumper	4	0,19	0,18	1,43	0,11	0,25	9	0,07	0,06	2,15	0,02	0,18	5	5,2	4,8	1,5	<3,00	8,9
Lossen FACCS	1A.2	Begeleider lossen	4	1,04	0,82	2,34	0,26	1,99	4	0,15	0,11	2,46	0,04	0,34	4	17,5	16,2	1,6	9,48	25,9
	1A.1	Losser ballast	9	1,95	1,59	2,05	0,44	4,06	9	0,10	0,07	2,47	0,01	0,33	9	8,5	7,9	1,5	3,20	12,3
Lossen SALT	1B	Losser ballast - nat	7	0,98	0,71	2,53	0,20	2,21	7	0,14	0,13	1,64	0,05	0,20	7	6,3	5,1	1,9	<2,20	17,9
	1B	Losser ballast - droog	2	34,9	10,3	14,5	1,55	68,2	3	1,78	1,04	3,46	0,43	4,30	3	153	95,5	3,2	44,8	360
Profileren	2B.1	Uitvoerder buiten - met borstel	2	29,6	28,6	1,46	21,1	37,3	2	4,96	4,96	1,00	4,95	4,97	2	131	127	1,4	99,4	162
	2B.1	Uitvoerder buiten - zonder borstel	3	2,91	2,68	1,66	1,58	4,36	3	0,75	0,73	1,33	0,53	0,88	3	51,8	32,7	4,0	6,70	92,1
	2B.2	Uitvoerder binnen	3	0,69	0,68	1,11	0,63	0,77	4	0,22	0,17	2,45	0,05	0,36	4	12,2	11,4	1,6	6,40	18,1
Stoppen	2A.1	Uitvoerder buiten	7	0,74	0,60	2,02	0,30	1,34	6	0,16	0,14	1,74	0,07	0,26	6	9,5	7,5	2,1	3,70	21,3
	2A.2	Uitvoerder binnen	4	0,57	0,49	1,92	0,25	0,97	4	0,08	0,07	1,77	0,04	0,15	4	6,5	6,0	1,6	<4,00	10,1
	2A.3	Maatvoerder	5	0,24	0,21	1,84	0,08	0,44	5	0,08	0,07	1,96	0,03	0,16	5	3,9	3,7	1,5	2,33	6,3
Kettinghorren	2C.3	Worteldoeklegger	6	1,73	1,65	1,41	1,00	2,57	6	0,21	0,16	2,58	0,03	0,51	6	22,9	17,5	2,4	3,64	53,2
	2C.1	Uitvoerder buiten	7	4,35	2,69	3,34	0,40	10,28	8	0,35	0,19	3,80	0,02	1,03	8	41,3	30,2	2,6	5,98	82,8
	2C.2	Uitvoerder binnen	4	0,46	0,39	2,01	0,16	0,77	4	0,17	0,14	2,13	0,06	0,36	3	17,4	17,3	1,1	16,6	19,0
Diversen	5	Begeleider buitendienstgesteld spoor (BBD'er)	8	0,39	0,37	1,50	0,17	0,74	9	0,08	0,05	2,83	0,01	0,25	9	4,7	4,5	1,4	<3,00	8,1
	6	Machinist	7	0,54	0,35	3,01	0,08	1,29	7	0,05	0,03	3,21	0,01	0,11	7	4,8	4,2	1,8	1,60	9,3
	7	Werkers naastgelegen spoor	2	0,23	0,22	1,42	0,17	0,28	3	0,07	0,07	1,00	0,07	0,07	3	5,9	5,8	1,2	4,64	6,6

N=aantal metingen, AM=rekenkundig gemiddelde, GM=geometrisch gemiddelde, GSD=geometrische standaarddeviatie, Min=minimum, Max=maximum

* Dikgedrukt zijn de maatgevende blootstellingsgroepen per activiteit weergegeven. Dit wil zeggen de blootstellingsgroep(en) met de hoogste verwachte blootstelling binnen een activiteit.

De gemeten concentraties inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwartstof van de persoonsgebonden metingen liggen voor een groot deel van de blootstellingsgroepen (ruim) onder de respectievelijke grenswaarden, met uitzondering van één of meerdere metingen van de blootstellingsgroepen 'FACCS: lossen ballast' (voor inhaleerbaar stof), 'SALT: Lossen ballast (droog)' (voor inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwartstof), 'Profileren: Uitvoerder buiten (met borstel)' (voor inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwartstof), 'Profileren: Uitvoerder buiten (zonder borstel)' (voor inhaleerbaar stof en respirabel kwartstof) en 'Kettinghorren: Uitvoerder buiten' (voor inhaleerbaar stof en respirabel kwartstof). Dit hangt waarschijnlijk deels samen met het feit dat door de aannemers tijdens de uitvoering van de bemeten activiteiten nadruk is gelegd op het zoveel mogelijk beperken van de stofemissie. Bij de meeste activiteiten en trajecten werd de ballast en/of het ballastbed nat gespreid en/of bevochtigd. Daarnaast kwamen de werknemers van sommige blootstellingsgroepen tijdens het uitvoeren van hun werkzaamheden niet in directe nabijheid van de stofvormende activiteiten.

5.3.1.1 *Lossen*

FACCS-wagons en SALT-wagons zijn beide onderlossers, waarbij het ballast via stortkleppen op de baan wordt gestort. Bij het lossen van FACCS wagons worden de stortkleppen handmatig bediend via schuiven op het bordes van de wagons, bij het lossen met SALT wagons worden de kleppen op afstand bediend via een 'controller'. De SALT wagons zijn voorzien van een sproei-installatie, met sproeiers nabij de stortkleppen. Het sproeisysteem is in staat om de stofemissie dusdanig te minimaliseren dat voor de blootstellingsgroep 'SALT: Lossen ballast (nat)' alle gemeten concentraties inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwartstof onder de grenswaarden blijven. Echter, het is meerdere keren voorgekomen dat de sproei-installatie niet goed functioneerde, waardoor de gemeten concentraties voor de blootstellingsgroep 'SALT: Lossen ballast (droog)' ver boven de grenswaarden uitkomen. De ballast in de FACCS-wagons wordt handmatig bevochtigd door de ballast voor het lossen te besproeien met water. Voor de blootstellingsgroep 'FACCS: Lossen ballast' blijven de gemeten concentraties aan respirabel stof en respirabel kwartstof ruim onder de grenswaarden. Voor inhaleerbaar stof is echter sprake van een relatief grote spreiding in de gemeten concentraties (0,44 - 4,1 mg/m³), waarbij de hoogste gemeten concentratie van 4,1 mg/m³ net boven de grenswaarde van 4 mg/m³ ligt. De grote spreiding in resultaten bij het lossen van ballast met FACCS wagons is in lijn met de resultaten van eerdere metingen, uitgevoerd door derden. Een belangrijke oorzaak voor deze relatief grote spreiding is de windrichting: de lossers staan op het bordes van de wagons en kunnen bij ongunstige wind niet aan de stofwolk ontsnappen, terwijl ze zich bij een gunstige wind niet in deze stofwolk bevinden.

5.3.1.2 *Stoppen en profileren*

Na het verdichten van het ballastbed en het bepalen van de juiste spoorligging met de stopmachine wordt de profileermachine gebruikt om het ballastbed te egaliseren en in profiel te brengen (profileren van het spoor). De profileermachine is de laatste machine die wordt ingezet op een spooronderhouds- of spoorvernieuwingstraject. Andere machines die dezelfde functie hebben zijn de ballastprofielploeg, BDS (ballast distribution system), SSP (streckenschotter- und profileremaschine) en ballastafwerkmaschine. Afhankelijk van het type en de uitvoering is de profileermachine voorzien van een sproeisysteem bij de stortbak met reserveballast en een borstelmaschine voor het reinigen van het spoor. Beide systemen kunnen los

van elkaar worden geactiveerd. Bij de activiteit 'Profileren' zijn de gemeten blootstellingsniveaus voor de 'Uitvoerder buiten' zonder actieve borstelmachine ca. een factor 10 lager dan in situaties met een geactiveerde borstelmachine. Voorafgaand aan het profileren met actieve borstelmachine is het ballastbed niet bevochtigd, maar tijdens het profileren werd de ballast wel bevochtigd met behulp van een sproei-installatie bij de stortbak. Bij het profileren zonder actieve borstelmachine is tijdens één van de drie metingen het ballastbed voorafgaand bevochtigd met een sproeiwagen. De gemeten concentraties respirabel stof en respirabel kwartsstof waren echter vergelijkbaar met de resultaten van de andere twee metingen, waarbij gebruik is gemaakt van een sproei-installatie bij de stortbak (en zonder bevochtiging van de ballast vooraf). Wel lijkt de gemeten concentratie inhaleerbaar stof iets lager te zijn wanneer de ballast vooraf is bevochtigd, maar op basis van het beperkte aantal metingen kunnen hieruit geen conclusies worden getrokken. Zowel het vooraf bevochtigen van het ballastbed als het gebruik van het sproeisysteem bij de stortbak lijken niet te volstaan om de mate van blootstelling tijdens profileren voldoende te reduceren.

5.3.1.3 *Kettinghorren*

De kettinghor wordt ingezet om oude, nog geschikte ballast te hergebruiken. De oude ballast wordt eerst weggegraven met behulp van een ketting, waarna deze via een transportband naar een zeefbak wordt getransporteerd. Bij de zieving worden de kleinste (<30 mm) stenen er uitgezeefd, waarna de stenen die groter zijn dan 30 mm via een transportband worden teruggevoerd naar het ballastbed. De niet bruikbare stenen worden afgevoerd naar diverse ballastwagons achter de kettinghor. De oude ballast is fijner van structuur dan nieuwe ballast vanwege jarenlange trillingen en frictie door passerende treinen. Bij kettinghorren heeft men te maken met kwartshoudende ballast en dus kans op blootstelling aan respirabel kwartsstof omdat het oude ballastbed bestaat uit kwartshoudend gesteente, terwijl bij de overige activiteiten veelal sprake is van een mix van kwartsloze ballast (nieuw aangestort) en kwartshoudende ballast (terugstorten van oude ballast (hergebruik)).

Bij de activiteit 'Kettinghorren' was het vernevelingssysteem op de kettinghor tijdens alle metingen actief, en werd de ballast dus tijdens het kettinghorren bevochtigd. Bij het gedeelte van de kettinghor waar de zieving plaatsvindt is geen sproeisysteem aanwezig, wat van invloed kan zijn op de gemeten concentraties (inhaleerbaar) stof. De werknemers binnen de blootstellingsgroep 'Uitvoerder buiten' houden namelijk ook toezicht op het verloop van het zeven van de oude ballast, en de hoeveelheid tijd die zij in de buurt van het zeven doorbrengen is onder andere afhankelijk van het type ballast en de aanwezigheid van overig restafval. Op basis van de resultaten van dit onderzoek blijkt dat dit vernevelingssysteem niet volstaat om de blootstelling voldoende te reduceren. Dit blijkt ook op basis van de realistische 'worst-case' metingen tijdens het kettinghorren (zie Tabel C.2), waarbij geen duidelijk verschil is te zien tussen de concentraties aan inhaleerbaar stof en respirabel stof met en zonder vernevelingssysteem.

5.3.1.4 *Beschrijving maatgevende blootstellingsgroep per activiteit*

Indien er per activiteit meerdere blootstellingsgroepen zijn bemeaten is per activiteit een maatgevende blootstellingsgroep, de blootstellingsgroep waarbij de (verwachte) mate van blootstelling het hoogst is, aangegeven. Over het algemeen bevinden de werknemers uit de maatgevende blootstellingsgroep zich tijdens het uitvoeren van de werkzaamheden dicht bij de stofbron. Binnen een activiteit zijn de gemeten

blootstellingsniveaus voor de maatgevende blootstellingsgroep over het algemeen dan ook hoger dan voor niet-maatgevende blootstellingsgroep(en). Inhaleerbare stofdeeltjes verspreiden zich over een minder grote afstand dan respirabele deeltjes, omdat ze sneller deponeren. Voor blootstellingsgroepen die zich op grotere afstand van de bron bevinden, resulteert dit over het algemeen in lagere concentraties inhaleerbaar stof dan respirabel stof of respirabel kwartsstof. Dit wordt bevestigd door de resultaten van de verzamelde persoonsgebonden metingen.

In geval van de activiteit 'Lossen FACCS' bevinden werknemers uit de blootstellingsgroep 'Losser ballast' zich op het bordes van de loswagons en bedienen de schuiven van de stortkokers (dicht bij het stortfront), terwijl werknemers binnen de blootstellingsgroep 'Begeleider lossen FACCS-wagons' zich in algemene zin op grotere afstand van de bron bevinden en meer vrijheid hebben om bijvoorbeeld stofwolken te vermijden. In geval van de activiteit 'Profileren' bevinden werknemers van de blootstellingsgroepen 'Uitvoerder buiten' (zowel in situaties met als zonder borstel) zich tijdens het uitvoeren van hun werkzaamheden dichtbij het borstelen en verschuiven van de ballast. Hierbij treedt de meeste stofvorming op. Werknemers van de blootstellingsgroep 'Uitvoerder binnen' bevinden zich in een cabine die fungeert als een afscherming van de stofbron, en deze cabine verlaten ze tijdens het uitvoeren van de werkzaamheden zelden.

Ook in geval van de activiteit 'Stoppen' bevinden werknemers binnen de blootstellingsgroep 'Uitvoerder buiten' zich tijdens het uitvoeren van de werkzaamheden het dichtst bij de stofbron (het verdichten met stophamers), terwijl werknemers uit de blootstellingsgroep 'Uitvoerder binnen' zich in een cabine bevinden die fungeert als een afscherming van de stofbron. De werknemers binnen de blootstellingsgroep 'Maatvoerder' bevinden zich ook buiten, maar op grotere afstand van de stofbron dan de werknemers binnen de blootstellingsgroep 'Uitvoerder buiten', en hebben ook meer vrijheid om bijvoorbeeld stofwolken te vermijden, aangezien ze achter de stoptrein aan rijden/lopen.

Ook binnen de activiteit 'Kettinghorren' bevinden werknemers binnen de blootstellingsgroep 'Uitvoerder buiten' zich tijdens het uitvoeren van de werkzaamheden het dichtst bij de diverse stofbronnen, namelijk het weggraven van de ballast met de ketting, het uitzeven van de oude ballast en het terugstorten van de retourfractie van de gezeefde ballast, terwijl werknemers uit de blootstellingsgroep 'Uitvoerder binnen' zich in een cabine bevinden die fungeert als een afscherming van de stofbron, en deze cabine slechts af en toe (bij het in- en uitbouwen van de ketting) verlaten. De werknemers binnen deze blootstellingsgroep komen wel iets vaker buiten de cabine dan de werknemers binnen de blootstellingsgroepen 'Uitvoerder binnen' van de activiteiten 'Stoppen' en 'Profileren', omdat de werkzaamheden soms even stil worden gelegd om de trein om te bouwen en zo obstakels te vermijden. De werknemers binnen de blootstellingsgroep 'Worteldoeklegger' bevinden zich ook buiten, maar zijn slechts korte momenten bij de ketting aanwezig om het worteldoek te leggen. Het merendeel van de tijd bevinden zij zich op grotere afstand van de stofbronnen.

Werknemers binnen de blootstellingsgroepen die zijn samengevoegd in de groep 'Diversen' zijn over het algemeen zelf niet actief betrokken bij verwerken van de ballast, maar hebben bijvoorbeeld een meer ondersteunende rol ('Machinist') dan wel controlerende rol ('Begeleider buitendienstgesteld spoor' (BBD'er)), en bevinden zich

hierbij op grote(re) afstand van de stofbron. Werknemers binnen de blootstellingsgroep 'Machinist' bevinden zich tijdens het uitvoeren van de werkzaamheden in een cabine en worden daardoor afgeschermd van de bron. Deze cabine bevindt zich in de meeste gevallen ook op relatief grote afstand van de stofbron. Over het algemeen lijkt er voor de verschillende activiteiten waarbij een uitvoerder in een cabine aan het werk is sprake te zijn van relatief hoge (achtergrond)concentratie binnen in de cabine. Er wordt aangenomen dat door het in- en uitlopen van de cabine over de tijd zich stof in deze cabine verzamelt (transfer). Ook kan het zijn dat deuren en ramen niet hermetisch dicht zijn of dat de ventilatielucht niet goed wordt gefilterd.

5.3.2 Beoordeling van de resultaten van de taakgerichte persoonsgebonden metingen

Bij de beoordeling op basis van de resultaten van taakgerichte persoonsgebonden metingen is er (worst-case) van uitgegaan dat werknemers de hele werkdag bezig (kunnen) zijn met de bemeten activiteit (gemeten taakgerichte blootstelling = 8-uurs tijdgewogen gemiddelde blootstelling). Uit de beoordeling volgt dat de blootstelling van alle bemeten blootstellingsgroepen binnen de activiteiten 'Ontgraven, storten, laden & lossen' en 'Diversen' voldoet aan de grenswaarden (zie Tabel 9). Binnen de activiteiten 'Lossen FACCS', 'Lossen SALT', 'Profileren', 'Stoppen' en 'Kettinghorren' voldoet de blootstelling echter voor een deel van dan wel alle blootstellingsgroepen niet aan één of meerdere grenswaarden.

Voor zes van de 17 bemeten blootstellingsgroepen is sprake van overschrijding van de grenswaarde voor zowel inhaleerbaar stof, respirabel stof als respirabel kwartsstof ('FACCS: Begeleider lossen', 'SALT: Losser ballast (droog)', 'Profileren: uitvoerder buiten (met borstel)', 'Profileren: uitvoerder buiten (zonder borstel)', 'Profileren: uitvoerder binnen', en 'Kettinghorren: Uitvoerder binnen'). Daarnaast is voor één van de 17 bemeten blootstellingsgroepen sprake van overschrijding van de grenswaarde voor zowel inhaleerbaar stof als respirabel kwartsstof ('Kettinghorren: uitvoerder buiten'), en is voor twee van de 17 bemeten blootstellingsgroepen sprake van overschrijding van de grenswaarde voor alleen inhaleerbaar stof ('FACCS: Losser ballast' en 'Stoppen: uitvoerder binnen'). Hierbij dient te worden opgemerkt dat in geval van blootstelling aan kankerverwekkende stoffen, zoals respirabel kwartsstof, aanvullende eisen ⁶ en voorschriften ⁷ gelden, bijvoorbeeld gericht op het voorkomen dan wel terugbrengen tot een zo laag mogelijk niveau onder de grenswaarde van blootstelling.

⁶ Wat zegt de wet over kankerverwekkende en mutagene stoffen? | Kankerverwekkende en mutagene stoffen | Arboportaal

⁷ Arbeidsomstandighedenbesluit, hoofdstuk 4 (Gevaarlijke stoffen en biologische agentia), afdeling 2 (Aanvullende voorschriften kankerverwekkende of mutagene stoffen en kankerverwekkende processen), artikelen 4.11 t/m 4.24.

Tabel 9 Vergelijking van de mate van blootstelling per blootstellingsgroep (SEG) met de grenswaarden voor inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwartsstof, op basis van de resultaten van taakgerichte persoonlijke metingen.

Activiteit	Blootstellingsgroep (SEG) ¹⁾		Type toets	Beoordeling conform de NEN-EN 689	Indien sprake van overschrijding, voor welke stof(fen)
	Nr.	Naam			
Ontgraven, storten, laden & lossen	4A	Chauffeur kraan, shovel, vrachtwagen	Indicatieve toets (inh. stof / resp. kwartsstof) Statistische toets (resp. stof)	Voldoet	-
	Lossen FACCS	1A.2	Begeleider lossen FACCS	Indicatieve toets	Voldoet niet
1A.1		Losser ballast	Statistische toets	Voldoet niet	Inhaleerbaar stof
1B		Losser ballast - nat	Statistische toets	Voldoet	-
Lossen SALT	1B	Losser ballast - droog	Indicatieve toets ²⁾	Voldoet niet	Inhaleerbaar stof, respirabel stof en - kwartsstof
	Profileren	2B.1	Uitvoerder buiten - met borstel	Indicatieve toets ³⁾	Voldoet niet
2B.1		Uitvoerder buiten - zonder borstel	Indicatieve toets	Voldoet niet	Inhaleerbaar stof, respirabel stof en - kwartsstof
2B.2		Uitvoerder binnen	Indicatieve toets	Voldoet niet	Inhaleerbaar stof, respirabel stof en - kwartsstof
Stoppen	2A.1	Uitvoerder buiten	Statistische toets	Voldoet	-
	2A.2	Uitvoerder binnen	Indicatieve toets	Voldoet niet	Inhaleerbaar stof
	2A.3	Maatvoerder	Indicatieve toets	Voldoet	-
Kettinghorren	2C.3	Worteldoek legger	Statistische toets	Voldoet	-
	2C.1	Uitvoerder buiten	Statistische toets	Voldoet niet	Inhaleerbaar stof en respirabel kwartsstof
	2C.2	Uitvoerder binnen	Indicatieve toets	Voldoet niet	Inhaleerbaar stof, respirabel stof en - kwartsstof
Diversen	5	Begeleider buitendienst gesteld spoor (BBD'er)	Statistische toets	Voldoet	-
	6	Machinist	Statistische toets	Voldoet	-
	7	Werkers naastgelegen spoor	Indicatieve toets ²⁾	Voldoet	-

1) Dikgedrukt weergegeven de maatgevende blootstellingsgroep(en) per activiteit. Dit wil zeggen de blootstellingsgroep(en) met de hoogste verwachte mate van blootstelling binnen een activiteit.

2) Te weinig metingen (<3) voor inhaleerbaar stof voor indicatieve toets

3) Te weinig metingen (<3) voor alle stoffen voor indicatieve toets

Voor de blootstellingsgroepen waarvoor een beperkt aantal metingen beschikbaar is (3-5 metingen), is getoetst aan een percentage van de betreffende grenswaarde (10-20%, zie paragraaf 4.6), hierna 'toetswaarde' genoemd. Uit deze indicatieve toetsing

blijkt dat voor sommige blootstellingsgroepen ('FACCS: Begeleider lossen', 'Profileren: Uitvoerder buiten (zonder borstel)', 'Profileren: Uitvoerder binnen', 'Stoppen: Uitvoerder binnen' en 'Kettinghorren: Uitvoerder binnen') sprake is van overschrijding van de toetswaarde voor één of meerdere stoffen. Dit betekent echter niet dat de blootstelling van werknemers in deze blootstellingsgroepen altijd hoger is dan de grenswaarden. Dit blijkt ook uit de gemeten concentraties inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwartsstof voor vier van deze vijf blootstellingsgroepen die onder de grenswaarde liggen. Op basis van het beperkte aantal metingen dat beschikbaar is kan voor deze vier blootstellingsgroepen echter niet met voldoende zekerheid gesteld kan worden dat de grenswaarde(n) niet word(t)(en) overschreden. Voor deze blootstellingsgroepen zouden meer metingen uitgevoerd kunnen worden om de gemeten concentraties op basis van een statistische toetsing te kunnen vergelijken met de grenswaarde. Voor de blootstellingsgroep 'Profileren: Uitvoerder buiten (zonder borstel)' heeft het verzamelen van meer metingen echter geen toegevoegde waarde, omdat de hoogst gemeten blootstelling voor zowel inhaleerbaar stof als respirabel kwartsstof niet alleen hoger ligt dan de toetswaarden, maar ook hoger dan de grenswaarden. Voor deze blootstellingsgroep kan derhalve met zekerheid worden geconcludeerd dat deze grenswaarden worden overschreden.

Voor een aantal blootstellingsgroepen zijn te weinig metingen verzameld om een indicatieve toetsing aan de grenswaarde uit te kunnen voeren (1-2 metingen). Het betreft de blootstellingsgroepen 'SALT: Losser ballast (droog)' (voor inhaleerbaar stof), 'Profileren: Uitvoerder buiten (met borstel)' (voor alle stoffen) en 'Werkers op naastgelegen spoor' (voor inhaleerbaar stof). Voor de blootstellingsgroepen 'SALT: Losser ballast (droog)' en 'Profileren: Uitvoerder buiten (met borstel)' zijn de gemeten concentraties voor alle stoffen dusdanig hoog (ruim boven de grenswaarden), dat er al geconcludeerd kan worden dat er sprake is van grenswaarde overschrijding. Dit betekent tevens dat het geen toegevoegde waarde heeft om voor deze blootstellingsgroepen aanvullende metingen te verzamelen. Voor de blootstellingsgroep 'Werkers op naastgelegen spoor' wordt voor respirabel stof en respirabel kwartsstof op basis van de indicatieve toetsing voldaan aan de grenswaarden. Omdat de gemeten concentraties inhaleerbaar stof van deze blootstellingsgroep een vergelijkbaar beeld laten zien (weinig spreiding, maximale waarde (ruim) onder 10% van de grenswaarde) wordt aangenomen dat ook in dit geval de grenswaarde niet zal worden overschreden.

Binnen de activiteit 'Stoppen' wordt alleen voor de blootstellingsgroep 'Uitvoerder binnen' op basis van een indicatieve toetsing niet voldaan aan de grenswaarde voor inhaleerbaar stof, maar worden de toetswaarden voor respirabel stof en respirabel kwartsstof niet overschreden. Ook voor de blootstellingsgroepen 'Uitvoerder buiten' en 'Maatvoerder' wordt er voldaan aan de grenswaarden voor alle stoffen. Voor de blootstellingsgroep 'Uitvoerder binnen' liggen alle gemeten taakgerichte stofconcentraties echter wel (ruim) onder de grenswaarden. En omdat deze werknemers zich tijdens het grootste deel van de werkzaamheden in een afgesloten ruimte (de cabine) bevinden in plaats van buiten in de buurt van de activiteiten met ballast, zoals werknemers uit de blootstellingsgroep 'Uitvoerder buiten' (waarvan de gemeten stofconcentraties over het algemeen lager zijn en waarvoor geen sprake is van overschrijding van de grenswaarden), is het waarschijnlijk dat er voor deze blootstellingsgroep in de praktijk geen sprake is van grenswaardeoverschrijding.

5.3.3 Taakgerichte blootstelling vs blootstelling gedurende een werkdag

Bij de beoordeling is er (worst-case) van uitgegaan dat de gemeten taakgerichte blootstelling overeenkomt met de daggemiddelde (8-uurs TGG) blootstelling. Op basis van de in dit rapport gepresenteerde meetresultaten en het bijbehorende blootstellingsprofiel (de duur, frequentie en (eventuele) combinatie van diverse spooronderhoudswerkzaamheden op een werkdag) kan voor een groep werknemers met eenzelfde blootstellingsprofiel bepaald worden of de daggemiddelde blootstelling met voldoende zekerheid beneden de geldende publieke dan wel private grenswaarden ligt. Om te komen van een gemeten taakgerichte blootstelling tot realistische daggemiddelde blootstelling moet onder andere worden vastgesteld hoe vaak (blootstellingfrequentie) en hoeveel tijd (blootstellingsduur) werknemers binnen een blootstellingsgroep bezig zijn met een bepaalde activiteit op een (gemiddelde) werkdag. Ook zal per blootstellingsgroep de duur en frequentie van relevante combinaties van activiteiten met ballast gedurende een werkdag moeten worden vastgesteld, omdat werknemers binnen een blootstellingsgroep bij verschillende stofvormende activiteiten betrokken kunnen zijn. Wanneer de uitvoering van een bepaalde activiteit op een werkdag in de praktijk korter is dan 8 uur (gemiddelde werkdag) is dit bijvoorbeeld van invloed op de 8-uurs TGG blootstelling en dus ook of er al dan niet sprake is van een grenswaarde overschrijding.

Gegevens over blootstellingsprofielen voor de blootstellingsgroepen zijn op het moment van schrijven niet beschikbaar. De inventarisatie van de verschillende blootstellingsprofielen zal door spooraanemers zelf moeten worden uitgevoerd in het kader van de verplichte risicoinventarisatie en -evaluatie (RI&E). Op basis van de in dit rapport gepresenteerde meetresultaten en de door de aannemer vastgestelde blootstellingsprofielen en eventuele blootstellingsscenario's kan voor een groep werknemers met eenzelfde blootstellingsprofiel bepaald worden of de daggemiddelde blootstelling met voldoende zekerheid beneden de geldende publieke dan wel private grenswaarden ligt.

5.3.4 Inschatting van de mate van blootstelling voor niet-bemeten blootstellingsgroepen

De focus van het huidige blootstellingsonderzoek lag op de grootschalige activiteiten met ballast, aangezien daarbij de meeste stofvorming ontstaat. Dit betekent dat vooral voor de meer kleinschalige werkzaamheden geen (persoonsgebonden) metingen zijn verzameld (zie Tabel 10). In deze paragraaf wordt nagegaan in hoeverre de resultaten van metingen zoals verzameld in zowel dit onderzoek als externe onderzoeken kunnen worden gebruikt om een inschatting te maken van de mate van blootstelling van de niet-bemeten blootstellingsgroepen. Door het ontbreken van specifieke persoonsgebonden metingen voor deze blootstellingsgroepen kan echter niet worden beoordeeld of er sprake is van overschrijding van de grenswaarde voor inhaleerbaar stof, respirabel stof dan wel respirabel kwartsstof.

De werknemers binnen de blootstellingsgroepen 'Lossen - FAS wagons', 'Lossen - big bag / 'kubel' en 'Lossen - ballast container' voeren over het algemeen vergelijkbare werkzaamheden uit als de werknemers uit de blootstellingsgroepen 'SALT: lossen ballast' en 'FACCS: lossen ballast', maar dan op kleinere schaal waarbij wordt verwacht dat minder stofvorming optreedt (kortere duur dan wel kleinere hoeveelheden). Hetzelfde geldt voor de werkzaamheden van werknemers binnen de blootstellingsgroep 'Uitvoerder kleinschalig onderhoud', waaronder bedieners van de

trilplaat, borstelmachine, bladblazer en ballastzuiger vallen, ten opzichte van grootschalige onderhoudswerkzaamheden aan het spoor zoals stoppen en profileren. Werknemers binnen de blootstellingsgroep 'Uitvoerder buiten nabij het werk' binnen de activiteit 'Ontgraven, storten, laden & lossen' zijn over het algemeen niet direct betrokken bij het verwerken van ballast en bevinden zich ook op een grotere afstand tot de stofbron.

Omdat specifieke blootstellingsniveaus ontbreken is getracht om op basis van de resultaten van de (persoonsgebonden) metingen van andere blootstellingsgroepen binnen dezelfde dan wel een andere activiteit die vergelijkbare werkzaamheden uitvoeren (zogenaamde proxy activiteiten) een inschatting te maken van de mate van blootstelling tijdens het uitvoeren van de betreffende werkzaamheden van deze niet-bemeten blootstellingsgroepen (zie Tabel 10). Ook hier gaat het om een inschatting van de taakgerichte blootstelling, waarbij geen rekening is gehouden met het verdere blootstellingsprofiel van deze werknemers (bijvoorbeeld duur en frequentie van blootstelling). Voor het inschatten van de mate van blootstelling wordt onderscheid gemaakt tussen 'worst-case' proxies (waarvan de verwachting is dat de blootstelling over het algemeen hoger zal zijn) en 'realistische' proxies (waarvan de verwachting is dat de blootstelling vergelijkbaar zal zijn).

De inschatting van de mate van blootstelling wordt onderverdeeld in drie niveaus:

- Relatief laag: waarschijnlijk onder de grenswaarden;
- Relatief hoog: waarschijnlijk boven de grenswaarden;
- Onbekend.

De onderbouwing van deze inschattingen wordt beschreven in onderstaande paragrafen (paragraaf 5.3.4.1 t/m 5.3.4.8).

Tabel 10 Inschatting mate van blootstelling van niet-bemeten blootstellingsgroepen (SEGs) op basis van proxy activiteiten

Activiteit	Blootstellingsgroep (SEG)		Beschrijving activiteit	Proxy activiteit(en)	Inschatting blootstelling
	Nr	Naam			
Lossen	1D	Losser big bag / kubel	Storten van ballast in het spoor vanuit big bags of een 'kubel'. De ballast wordt niet standaard bevochtigd en werknemers staan dicht op de handeling	Lossen FACCS	Laag (met bevochtiging), Onbekend (zonder bevochtiging)
	1C	Losser FAS wagon	Storten van ballast in het spoor (onderbaan) vanuit naastgelegen spoor met behulp van zijlossers (FAS wagons).	Lossen FACCS en Lossen SALT	Laag
	1E	Losser ballast container	Storten van ballast in het spoor vanuit een half open container met behulp van een krol die met een graafbak de ballast in het spoor schuift of stort.	Ontgraven, storten, laden & lossen	Laag
Kleinschalig onderhoud	3	Bediener trilplaat (wacker)	Handmatig stoppen met behulp van een trilplaat ('wacker')	Stoppen	Laag (met bevochtiging), Onbekend (zonder bevochtiging)

Activiteit	Blootstellingsgroep (SEG)		Beschrijving activiteit	Proxy activiteit(en)	Inschatting blootstelling
	Nr	Naam			
		Bediener borstel-machine	Wegvegen overtollig ballast in het spoor met borstelmaschine.	Profileren met borstel	Onbekend
		Bediener bladblazer	Wegblazen overtollig ballast in het spoor met bladblazer *	-	Hoog
		Bediener ballast-zuiger/losser	Het wegzuigen van oude ballast in de baan en het vervolgens storten ergens in depot of in een container. De ballast wordt niet standaard bevochtigd.	Lossen FACCS en Ontgraven, storten, laden & lossen	Laag
Ontgraven, storten, laden & lossen	4B	Uitvoerder buiten nabij het werk	Controle tijdens ontgraven & storten en/of laden & lossen van ballast (bijv. als grondwerker of opruimen explosieven). Werknemers zijn zelf niet direct aan het werk met ballast bevinden zich op wisselende afstand van de bron	Ontgraven, storten, laden & lossen en 'Diversen	Laag

* Deze activiteit is verboden (zie Arbocatalogus Spoorbranche)

5.3.4.1 Lossen FAS-wagon

FAS wagons worden niet veel meer gebruikt. De ballast wordt met behulp van zijlossers (FAS wagons) in het spoor (onderbaan) gestort vanuit het naastgelegen spoor. Het gaat hier om grote hoeveelheden ballast die in één keer in de baan worden gelost, waarbij mogelijk veel stof vrijkomt. In vergelijking met het lossen met behulp van onderlossers (FACCS wagons en SALT wagons) gaat het wel om kortdurende handelingen. Er wordt aangegeven dat de ballast normaal gesproken vooraf wordt bevochtigd. Bij het lossen met FAS wagons zijn onder andere lossers en een maatvoerder betrokken, waarbij de lossers zich tijdens het uitvoeren van de werkzaamheden het dichtst bij de stofbron bevinden (maatgevende blootstellingsgroep). De blootstellingsgroepen 'FACCS lossers ballast' en 'SALT: lossers ballast (nat)' worden als 'realistische' proxies gezien, omdat het om vergelijkbare handelingen gaat: het lossen van grote hoeveelheden ballast in de baan. De blootstellingniveaus voor deze twee blootstellingsgroepen zijn relatief laag (gemeten taakgerichte blootstelling veelal onder de respectievelijke grenswaarden). Dit is in overeenstemming met de resultaten van de externe studies (o.a. Buro Blauw in 2010), waarin de gemeten concentraties respirabel stof en respirabel kwartsstof tijdens het droog lossen met FAS wagons (gemiddelde waarden respectievelijk 0,26 mg/m³ en 28 µg/m³) lager waren dan de in de externe studies gemeten concentraties tijdens het droog lossen met FACCS wagons (gemiddelde waarden 2,0 mg/m³ en 210 µg/m³) en SALT wagons (gemiddelde waarden 1,1 mg/m³ en 77 µg/m³), aan de hand van persoonsgebonden metingen. Op basis hiervan wordt ingeschat dat de mate van blootstelling voor de blootstellingsgroep 'Lossen FAS-wagon' relatief laag zal zijn.

5.3.4.2 Lossen big bag / 'kubel'

De ballast wordt via een big bag of 'kubel' in de baan gestort. Het storten via big bags of via een kubel is vergelijkbaar. Het storten gebeurt op vergelijkbare hoogte als een

onderlosser (zoals de FACCS wagons), maar betreft kleinere hoeveelheden. De ballast wordt niet standaard (vooraf) bevochtigd en de werknemer (losser/begeleider) staat vaak dicht op het stortfront (en dus de stofbron). Het lossen met big bags of 'kubels' wordt veel uitgevoerd door PGO aannemers: het werk wordt in korte tijd uitgevoerd met veel personeel, waarbij een lossen en krolmachinist (in cabine) direct bij het lossen betrokken zijn. De lossen is hierbij de maatgevende blootstellingsgroep. De blootstellingsgroep 'FACCS: Lossen ballast' wordt in principe als 'worst-case' proxy gezien, omdat de werkzaamheden op veel kleinere schaal (kleinere hoeveelheden per tijdseenheid) plaatsvinden en minder lang duren. Echter, omdat de ballast niet standaard nat wordt gemaakt is het mogelijk dat de blootstelling tijdens het lossen met een big bag / kubel (iets) hoger is dan tijdens het lossen van ballast met een FACCS-wagon. Ook hebben we geen inzicht in hoeverre lossers zich direct in de stofwolk bevinden. Dit betekent dat het blootstellingsniveau voor de blootstellingsgroep 'Lossen big bag / 'kubel'' niet goed kan worden ingeschat. Bij het toepassen van emissiebeperkende (bevochtiging) en organisatorische maatregelen (de lossen positioneert zich bovenwinds van het lossen) wordt ingeschat dat de mate van blootstelling voor de blootstellingsgroep 'Lossen big bag / 'kubel'' relatief laag zal zijn.

5.3.4.3 *Lossen ballast container*

De ballast wordt met behulp van een ballast-afrijbak of graafbak/kantelbak in het spoor geschoven of gestort vanuit een half open loscontainer of containerbak op lorries gekoppeld aan een krol. Het stortprincipe via een ballast container is vergelijkbaar met een onderlosser (zoals de FACCS wagons), waarbij het ballast vanuit de container in het spoor wordt gestort. Het werk is echter kleinschaliger (kleinere hoeveelheden) dan in geval van lossen met onderlossers. Er wordt aangegeven dat de ballast normaal gesproken vooraf wordt bevochtigd. Bij het lossen is alleen een krolmachinist (in cabine) betrokken en geen lossen en/of begeleider in de baan zelf (buiten). De blootstellingsgroep 'Chauffeur/machinist kraan, krol, shovel, vrachtwagen, dumper' wordt als realistische proxy gezien voor de krolmachinist tijdens het lossen van een ballast container. Op basis hiervan wordt ingeschat dat de mate van blootstelling voor deze blootstellingsgroep relatief laag zal zijn.

5.3.4.4 *Bediener trilplaat*

Met een trilplaat of 'wacker' wordt het ballastbed handmatig verdicht (stoppen). Het werk vindt plaats bij onder andere incidentele dwarsliggervervanging of klappers en is kleinschalig (kortdurend); wel kunnen de werkzaamheden meerdere keren per dag worden uitgevoerd. Het betreft kortdurende werkzaamheden waar veel stof vanuit de ballast vrij kan komen door de vibraties van de trilplaat. Bij de uitvoering van de werkzaamheden is alleen de bediener van de trilplaat cq 'wacker' betrokken. De blootstellingsgroep 'Stoppen: uitvoerder buiten' wordt als realistische proxy gezien, omdat het om dezelfde type activiteit gaat en de uitvoerder in beide gevallen redelijk dichtbij de bron staat. Op basis hiervan wordt ingeschat dat de mate van blootstelling voor de blootstellingsgroep 'Kleinschalig onderhoud: bediener trilplaat' relatief laag zal zijn. Dit is in lijn met het resultaat de enige persoonsgebonden meting die is uitgevoerd bij het bedienen van een trilplaat (handmatig stoppen) als onderdeel van kleinschalige onderhoudswerkzaamheden, waarbij voor inhaalbaar stof, respirabel stof en respirabel kwartsstof concentraties van respectievelijk 1,5 mg/m³, 0,29 mg/m³ en <7 µg/m³ zijn gemeten (zie ook Tabel C.3 in Bijlage C). Vergelijkbaar als met de metingen tijdens machinaal stoppen was bij deze meting het ballastbed voorafgaand

aan het stoppen nat gemaakt. De verwachting is dat onder droge omstandigheden de blootstelling hoger zal zijn.

5.3.4.5 *Bediener borstelmachine*

Bij deze activiteit wordt overtollig ballast in het spoor weggeveegd met behulp van een borstelmachine, waarbij relatief veel stof vrij komt. De activiteit is te vergelijken met de borstelmachine van een profileermachine. Echter, de borstelmachine wordt vaak ingezet bij kleinschalige werkzaamheden, waarbij veel werknemers (onder andere monteurs) tegelijkertijd op het spoor aanwezig kunnen zijn. De krolmachinist (in cabine) is de enige die direct betrokken is bij het borstelen. De blootstellingsgroep 'Profileren: uitvoerder binnen' wordt als realistische proxy voor de krolmachinist gezien. Op basis van deze proxy kan echter geen duidelijkheid worden verkregen over de mate van blootstelling voor de krolmachinisten. De overige werknemers op het spoor die zich in de buurt van de borstelmachine bevinden kunnen ook worden blootgesteld aan (kortdurende) hoge stofconcentraties. De mate van blootstelling is afhankelijk van de afstand tot en de duur nabij de borstelmachine. In principe geldt de blootstellingsgroep 'Werkers naastgelegen spoor' als proxy, echter voor deze groep zijn geen metingen uitgevoerd tijdens het profileren/borstelen. Wel zijn schaduwmetingen (meelopend met de profileermachine) op vijf meter afstand van een profileermachine (droge omstandigheden, met borstelen) uitgevoerd, waarbij voor inhaleerbaar stof en respirabel stof concentraties van respectievelijk 2,1 mg/m³ en 0,46 mg/m³ zijn gemeten (zie ook Tabel C.3 in Bijlage C). Op basis van de beschikbare informatie is echter geen goede inschatting van de mate van blootstelling te maken.

5.3.4.6 *Bediener bladblazer*

Het gebruik van bladblazers om het overtollig ballast en stof van het spoor te blazen werd in het verleden regelmatig uitgevoerd bij kleinschalig onderhoud, maar is nu vanuit de Arbocatalogus Spoorbranche verboden. Het gaat om kortdurende werkzaamheden waarbij veel stof vrij komt. Voor het schoonblazen van het spoor zijn geen resultaten van metingen van vergelijkbare werkzaamheden beschikbaar. Gezien het type werkzaamheden, waarbij veel stofemissie ontstaat, wordt ingeschat dat de mate van blootstelling voor de blootstellingsgroep 'Kleinschalig onderhoud: bediener bladblazer' hoog zal zijn.

5.3.4.7 *Bediener ballastzuiger/losser*

Met de ballastzuiger/losser wordt oude ballast weggezogen die vervolgens ergens in een depot of in een container wordt gestort. Hierbij wordt de ballast niet standaard nat gemaakt. Wel zijn sommige ballastzuigers voorzien van stoffilter. Handelingen worden veel uitgevoerd door PGO aannemers: het werk wordt in korte tijd uitgevoerd met veel werknemers, waarbij een krolmachinist (in cabine) en een uitvoerder of begeleider (buiten) (afhankelijk van het type ballastzuiger) direct betrokken zijn bij het uitvoeren van de werkzaamheden. Hierbij wordt de 'uitvoerder buiten' als maatgevende blootstellingsgroep gezien. De blootstellingsgroep 'FACCS: lossen ballast' wordt als worst-case proxy voor de uitvoerder buiten gezien, omdat de werknemers voor een (groot) deel bezig zijn met het opzuigen van ballast, waarbij wordt verwacht dat minder stofemissie optreedt, en er kleinere hoeveelheden ballast per tijdseenheid worden gestort (ondanks dat deze ballast niet is bevochtigd). De blootstellingsgroep 'Chauffeur/machinist kraan, krol, shovel, vrachtwagen, dumper' wordt als realistische proxy voor de krolmachinist gezien. Op basis hiervan wordt

ingeschat dat de mate van blootstelling voor de blootstellingsgroep 'Kleinschalig onderhoud: bediener ballastzuiger/losser' relatief laag zal zijn.

5.3.4.8 *Uitvoerder buiten nabij het werk*

Binnen de blootstellingsgroep 'Uitvoerder buiten nabij het werk' binnen de activiteit 'Ontgraven, storten, laden & lossen' bevinden zich onder andere grondwerkers en werkbegeleiders. Deze werknemers zijn zelf niet direct betrokken bij het verwerken van de ballast, maar hebben bijvoorbeeld een meer ondersteunende rol dan wel controlerende rol. Voor het inschatten van de mate van blootstelling voor deze blootstellingsgroep is gebruik gemaakt van de resultaten van stationaire metingen nabij en benedenwinds tijdens ontgraven, storten, laden en/of lossen in Fase 1 (Tromp, 2021) en Fase 3 (zie Tabel 11 en Tabel C.1 en Tabel C.2 uit Bijlage C). De stationaire metingen moeten worden gezien als realistische 'worst-case' metingen, en geven een indicatie van de (maximaal) te verwachten persoonlijke blootstelling van betrokken werknemers tijdens conventioneel ontgraven, storten, laden & lossen van ballast. Op basis van de resultaten van deze realistische worst-case metingen wordt ingeschat dat de mate van blootstelling voor de blootstellingsgroep 'Uitvoerder buiten nabij het werk' relatief laag zal zijn.

Tabel 11 Overzicht van resultaten van stationaire realistische "worst case" metingen tijdens de activiteit 'Conventioneel ontgraven, storten, laden & lossen'.

Inhaleerbaar stof (mg/m ³)						Respirabel stof (mg/m ³)						Respirabel kwartsstof (µg/m ³)					
N	AM	GM	GSD	Min	Max	N	AM	GM	GSD	Min	Max	N	AM	GM	GSD	Min	Max
16	0,80	0,61	2,34	0,12	1,60	16	0,12	0,10	1,80	0,03	0,22	13	10,1	9,05	1,69	3,60	20,0

5.3.5 *Vergelijking resultaten persoonsgebonden metingen met resultaten van eerdere metingen uit externe studies*

Om de gemeten stofconcentraties bij de diverse activiteiten in perspectief te kunnen plaatsen zijn de meetresultaten van dit onderzoek vergeleken met de resultaten van metingen die eerder zijn uitgevoerd in opdracht van ProRail in de periode 1994-2016 (zie Hoofdstuk 3). De huidige gemeten concentraties aan inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwartsstof liggen over het algemeen een factor 2-5 lager dan de concentraties die eerder zijn gemeten. Dit kan voor een deel worden verklaard doordat tijdens die eerdere metingen minder gebruik is gemaakt van emissiebeperkende maatregelen, zoals het nat houden/sproeien van de ballast. Daarnaast is een deel van de eerdere metingen met opzet nabij de stofvormende activiteiten (in de stofwolk) uitgevoerd, wat heeft geresulteerd in enkele extreem hoge concentraties. Dit geldt vooral voor de metingen tijdens het lossen van de FACCS wagons. In het huidige onderzoek is door de aannemers tijdens de uitvoering van de bemeten activiteiten wel veel nadruk gelegd op het zoveel mogelijk beperken van de stofemissie. Zo blijkt op basis van eigen observaties dat bij meerdere activiteiten en trajecten de ballast en/of het ballastbed (extra) nat gesproeid en/of bevochtigd werd. Daarnaast kwamen de werknemers van sommige blootstellingsgroepen tijdens het uitvoeren van hun werkzaamheden niet in directe nabijheid van de stofvormende activiteiten.

6 Conclusies

6.1 Fase 2: Evaluatie eerdere meetmethoden en opstellen uniforme meetmethode

Uit de door TNO uitgevoerde evaluatie van de 10 onderzoeksrapporten naar de emissie van en blootstelling aan kwartsstof uit de periode 1994 – 2018 is geconstateerd dat veel van deze onderzoeken niet voldoen aan de huidige versie van de NEN-EN 689. Ze zijn niet recent uitgevoerd en voldoen niet aan de strikte beoordelingssystematiek inclusief de vereisten voor een verkennend blootstellingsonderzoek met een beperkt aantal metingen. De gebruikte meetmethoden zijn over het algemeen correct uitgevoerd, maar er is te weinig contextuele informatie over belangrijke meetomstandigheden en -factoren, die van belang zijn voor de beoordeling van de blootstelling.

Op basis van deze evaluatie is door TNO een uniforme en robuuste meetmethode ontwikkeld, welke dusdanig is opgezet dat toetsing aan grenswaarden conform NEN-EN 689 mogelijk is, zie hiervoor Bijlage A: Uniform meetprotocol.

6.2 Fase 3: Stationaire en persoonlijke metingen tijdens handelingen met ballast

Gebruikmakend van de in Fase 2 ontwikkelde uniforme meetmethode, zijn in Fase 3 stationaire en persoonsgebonden metingen verricht bij een verscheidenheid van activiteiten en handelingen met ballast en op verschillende locaties. De metingen met het metazandsteengesteente uit Bremanger bevestigen het beeld van de resultaten in Fase 1 met het kwartsmicrodiorietgesteente. Ook hier blijkt dat het stofgehalte (fractie < 63 μm) per overslagmoment toeneemt, tot en met het lossen.

Het kwartspercentage in de ballast heeft weinig invloed op de concentratie respirabel kwartsstof; er is geen significant verschil tussen de percentages kwarts in respirabel stof afkomstig van metazandsteen en kwartsmicrodioriet. Ook voor andere gesteenten is gebleken dat het kwartspercentage in de ballast weinig invloed heeft op de concentratie respirabel kwartsstof (Esveld & Tromp, 2023). Wel, laten de metingen zien dat de gemeten stofconcentraties in de lucht, inclusief respirabel kwartsstof, bij dezelfde handelingen met metazandsteenballast lager zijn dan voor kwartsmicrodiorietballast. Dit is in overeenstemming met gemeten concentraties tijdens de simulatiemetingen met kwartsmicrodioriet en metazandsteen in Fase 1 van het onderzoek.

Het is niet mogelijk gebleken om bij alle handelingen de droge ballast als 'baseline scenario' te bemeten, waardoor in veel gevallen kwantitatieve gegevens over de effectiviteit van individuele maatregelen ontbreken. Een belangrijke reden hiervoor is dat tijdens het onderzoek de aannemers veel nadruk hebben gelegd op het zoveel mogelijk beperken van de stofemissie door middel van bevochtigen van de ballast en/of het ballastbed. Het is niet bekend of de in dit onderzoek getroffen emissiebeperkende maatregelen bij iedere spooraanemer en ieder onderhoudstraject standaard worden toegepast. Duidelijk is wel dat bevochtigen als beheersmaatregel bij activiteiten met ballast essentieel is om de stofemissie te beperken en dit zou bij iedere spooraanemer de dagelijkse praktijk moeten zijn.

Voor de meeste vooraf opgestelde blootstellingsgroepen zijn voldoende persoonsgebonden metingen uitgevoerd om conform de NEN-EN 689 te kunnen toetsen aan de geldende publieke dan wel private grenswaarden. Bij de beoordeling is er (worst-case) van uitgegaan dat werknemers de hele werkdag bezig (kunnen) zijn met de bemeten activiteit (gemeten taakgerichte blootstelling = 8-uurs tijdgewogen gemiddelde blootstelling). Tabel 12 geeft de conclusies weer van de beoordeling van de taakgerichte blootstelling per activiteit en blootstellingsgroep.

Tabel 12 Vergelijking van de mate van blootstelling per blootstellingsgroep (SEG) met de grenswaarden voor inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwartsstof, op basis van de resultaten van taakgerichte persoonlijke metingen.

Activiteit	Blootstellingsgroep (SEG) ¹⁾		Beoordeling conform de NEN-EN 689	Indien sprake van overschrijding, voor welke stof(fen) ^{5) 6)}
	Nr	Naam		
Ontgraven, storten, laden & lossen	4	Chauffeur kraan, shovel, vrachtwagen	Voldoet ²⁾	-
Lossen FACCS	1A.2	Begeleider lossen FACCS	Voldoet niet ³⁾	Alle stoffen
	1A.1	Losser FACCS	Voldoet niet ⁴⁾	Inhaleerbaar stof
Lossen SALT	1B	Losser SALT - nat	Voldoet ²⁾	-
	1B	Losser SALT - droog	Voldoet niet ⁴⁾	Alle stoffen
Profileren	2B.1	Uitvoerder buiten - met borstel	Voldoet niet ⁴⁾	Alle stoffen
	2B.1	Uitvoerder buiten - zonder borstel	Voldoet niet ⁴⁾	Alle stoffen
	2B.2	Uitvoerder binnen	Voldoet niet ³⁾	Alle stoffen
Stoppen	2A.1	Uitvoerder buiten	Voldoet ²⁾	-
	2A.2	Uitvoerder binnen	Voldoet niet ³⁾	Inhaleerbaar stof
	2A.3	Maatvoerder	Voldoet ²⁾	-
Kettinghorren	2C.3	Worteldoek legger	Voldoet ²⁾	-
	2C.1	Uitvoerder buiten	Voldoet niet ⁴⁾	Inhaleerbaar stof en respirabel kwartsstof
	2C.2	Uitvoerder binnen	Voldoet niet ³⁾	Alle stoffen
Diversen	5	Begeleider buitendienst-gesteld spoor (BBD'er)	Voldoet ²⁾	-
	6	Machinist	Voldoet ²⁾	-
	7	Werkers naastgelegen spoor	Voldoet ²⁾	-

1) Dikgedrukt weergegeven de maatgevende blootstellingsgroep(en) per activiteit. Dit wil zeggen de blootstellingsgroep(en) met de hoogste verwachte mate van blootstelling binnen een activiteit.

2) Voldoet conform de NEN-EN 689: gemeten blootstelling is met voldoende zekerheid onder de grenswaarden.

3) Voldoet niet o.b.v. indicatieve toets (<6 metingen): overschrijding één of meerdere grenswaarden op basis van indicatieve toetsing, gemeten blootstelling ligt wel onder de grenswaarde(n) maar te weinig metingen voor statistische toetsing conform NEN-EN 689.

4) Voldoet niet: gemeten blootstelling overschrijdt één of meerdere grenswaarden

5) Alle stoffen betreft hier inhaleerbaar stof, respirabel stof, en respirabel kwartsstof.

6) In geval van blootstelling aan kankerverwekkende stoffen, zoals respirabel kwartsstof, gelden aanvullende eisen en voorschriften, bijvoorbeeld gericht op het voorkomen dan wel terugbrengen tot een zo laag mogelijk niveau onder de grenswaarde van blootstelling.

De blootstelling binnen de activiteiten 'Ontgraven, storten, laden & lossen' en 'Diversen' voldoet aan de grenswaarden conform NEN-EN 689. Binnen de activiteiten 'Lossen FACCs', 'Lossen SALT', 'Profileren', 'Stoppen' en 'Kettinghorren' echter, voldoet de blootstelling voor sommige blootstellingsgroepen niet aan één of meerdere grenswaarden. Hier zijn aanvullende maatregelen noodzakelijk om de mate van blootstelling van de werknemers te voorkomen danwel zoveel mogelijk te beperken. Voor de activiteit 'Stoppen' wordt alleen voor de 'Uitvoerder binnen' niet voldaan aan de grenswaarde voor inhaleerbaar stof. Voor sommige blootstellingsgroepen wordt niet voldaan aan de grenswaarde(n) op basis van een indicatieve toetsing. Dit houdt in dat op basis van het beperkte aantal metingen dat beschikbaar is niet met voldoende zekerheid gesteld kan worden dat de grenswaarde(n) niet word(t)(en) overschreden, maar de gemeten concentraties onder de grenswaarde(n) zelf liggen. Voor deze blootstellingsgroepen zouden meer metingen uitgevoerd moeten worden om de gemeten concentraties op basis van een statistische toetsing te kunnen vergelijken met de grenswaarde conform NEN-EN 689.

De in dit onderzoek gepresenteerde resultaten zijn gebaseerd op taakgerichte metingen. Om te komen van deze taakgerichte blootstelling tot een representatieve daggemiddelde blootstelling (8-uurs tijdgewogen gemiddelde, 8-uurs TGG) is per functiegroep informatie nodig over het bijbehorende blootstellingsprofiel: de duur, frequentie en (eventuele) combinatie van diverse spooronderhoudswerkzaamheden op een werkdag. Het samenstellen van de verschillende blootstellingsprofielen dient door spooraanemers zelf te worden uitgevoerd. Op basis van de in dit rapport gepresenteerde meetresultaten en de door de aannemer vastgestelde blootstellingsprofielen kan voor een groep werknemers met eenzelfde blootstellingsprofiel bepaald worden of de daggemiddelde blootstelling met voldoende zekerheid beneden de geldende publieke dan wel private grenswaarden ligt.

7 Aanbevelingen

Op basis van de resultaten doet TNO de volgende aanbevelingen om de blootstelling van werknemers tijdens spoorwerkzaamheden met ballast te verminderen. Hierbij is rekening gehouden met de afstand tot de bron, gezien bedrijven vanuit de arbeidshygiënische strategie maatregelen zo dicht mogelijk bij de bron moeten treffen. Pas als een maatregel van een bepaald niveau om technische redenen niet mogelijk is mag een maatregel van één niveau lager gekozen worden. Hierbij mogen economische redenen niet worden aangedragen om voor maatregelen van een lager niveau te kiezen. Voor werken met kankerverwekkende en mutagene stoffen (zoals respirabel kwartsstof (kristallijn silica)) gelden tevens extra wettelijke eisen en voorschriften.

1. Bronmaatregelen: vervangen gevaarlijke stoffen

- Gebruik van kwartsvrije gesteenten om de blootstelling aan respirabel kwartsstof te voorkomen.
- Gebruik van ballast met minder stofvorming:
 - Gebruik van typen gesteenten met lage stofvormende eigenschappen om de blootstelling aan inhaleerbaar en respirabel stof te voorkomen dan wel te verminderen.
 - Gebruik van ballast met een zo laag mogelijk percentage breekstof (fines) door middel van wassen op de productielocaties en/of beperken van het aantal handelingen met het ballastmateriaal tijdens transport.

2. Technische maatregelen, werkprocessen, uitrustingen en materialen

- Technische innovaties om de vorming en/of verspreiding van stof tijdens spoorwerkzaamheden te verminderen:
 - Toepassen van technieken op spooronderhoudsmachines om de vorming van stof bij de bron te verminderen, het stof af te vangen en/of de verspreiding van stof tegen te gaan (afscherming).
 - Toevoegen van additieven aan de ballast om aanhechtend breekstof te binden zodat stofvorming wordt gereduceerd.
- Betere (meer effectieve) bevochtiging van de ballast voorafgaand en/of tijdens de spoorwerkzaamheden om verspreiding van stof te verminderen:
 - Gebruik van (innovatieve) sproeitechnieken om een meer uniforme en volledige bevochtiging van de ballast te bewerkstelligen.
 - Verbeteren van de betrouwbaarheid van (bestaande) bevochtigingsinstallaties/-technieken, zodat minder storingen optreden.

3. Collectieve of organisatorische maatregelen

- Meer en/of beter toezicht tijdens het bevochtigen om direct actie te kunnen ondernemen wanneer de bevochtiging niet afdoende is.
 - Visuele inspectie tijdens het bevochtigen in combinatie met een duidelijk protocol hoe te handelen wanneer het bevochtigen niet afdoende is (bijv. stilleggen werkzaamheden)
 - Real-time detectie van stofemissie met behulp van sensoren als indicatie van de effectiviteit van de bevochtiging, met ingebouwd alarm wanneer de stofemissie boven een bepaald niveau komt.
- Beperken van de mate van blootstelling van uitvoerders/werknemers buiten tijdens spooronderhoudswerkzaamheden:

- Inzet van ander (alternatief) materieel waarbij minder stofvorming optreedt, minder personeel nodig is en/of personeel zich verder van de bron bevindt.
- Aanpassen werkprocedures met als doel om blootstellingsmomenten (werkzaamheden dicht bij de bron) te minimaliseren.
- Blootstelling in de cabines van spooronderhoudsmachines beperken door:
 - a) overdruk en luchtfilters toe te passen, b) deuren en ramen gesloten te houden, c) cabines en filters regelmatig schoon te maken cq te vervangen.

4. Persoonlijke beschermingsmiddelen:

- Als geen van de bovenstaande beheersmaatregelen technisch mogelijk is, dan kunnen persoonlijke beschermingsmiddelen gebruikt worden om de persoonlijke blootstelling te minimaliseren. Het is in dat geval aan te bevelen om beter toezicht te houden op het dragen van adembescherming bij uitvoerders/werknemers buiten op momenten dat stofvorming niet kan worden voorkomen.

8 Referenties

4Infra. Toetsing beleid spoorbranche kwartsstof aan de Arbeidsomstandighedenwet. Project 41693, referentie 201801080900, 8 januari 2018.

Arcadis Bouw/Infra. Onderzoek naar de concentratie respirabel kwarts tijdens het lossen van basalt, porfier en gneis. Opdrachtnr. 61806592, kenmerk Bbc52, 23 december 1998.

Blauw luchthygiëne onderzoek en advies. Onderzoek arbeidsomstandigheden onderhoud spoorwegen – blootstelling aan respirabel stof en kwarts, rapport BL2010.4533.01-V02, 8 december 2010.

Cherrie J, Brosseau L, Donaldson K. Low-Toxicity Dusts: Current Exposure Guidelines Are Not Sufficiently Protective. *Ann. Occup. Hyg.* 2013; 57 (6): 685-691.

De Jong P, Moon AAM. Onderzoek naar de emissie van en de blootstelling aan respirabel (kwarts)stof en inhaleerbaar stof bij het storten van ballastbed bij spoorrail. TNO rapport 2008-D-R0193/B, 14 februari 2008.

Esveld JC, Tromp PC. Onderzoek naar het vrijkomen van stof en carcinogene/mutagene componenten tijdens gesimuleerde activiteiten met ballast TNO rapport TNO TR 2022/0031, 2022.

Fransman W, Cherrie J, van Tongeren M, Cherrie J, Tischer M, Schneider T, Schinkel J, Kromhout H, Warren N, Goede H, Tielemans E. The Advanced REACH Tool (ART): Development of the mechanistic model. *Ann. Occup. Hyg.* 2011; 55 (9): 957-979.

Gorter H, Kwartsbeoordeling. Arbo Advies Gorter, kenmerk 2016/48, 2 november 2016.

Moons AMM., Bepaling concentratie respirabel kwarts tijdens het lossen van basalt, porfier en gneiss. TNO rapport 98-BBI-R1474, 5 oktober 1998.

NEN. NEN-EN 481. Werkplekatmosfeer - Definitie van de deeltjesgrootteverdeling voor het meten van de in de lucht zwevende deeltjes. Stichting Koninklijk Nederlands normalisatie instituut (NEN), 2001.

NEN. NEN-EN 933-1. Beproevingmethoden voor geometrische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 1: Bepaling van de korrelgrootteverdeling – Zeefmethode. Nederlands normalisatie instituut. Stichting Koninklijk Nederlands normalisatie instituut, 2012.

NEN. NEN-EN 12341. Luchtkwaliteit - Algemene gravimetrische referentiemethode voor de bepaling van de PM10 of PM2,5-massafractie van zwevende stof in de buitenlucht. Stichting Koninklijk Nederlands normalisatie instituut (NEN), 2014.

NEN. NEN-EN 689+C1:2019. Werkplekatmosfeer – Meting van de inhalatieblootstelling aan chemische stoffen – Strategie om te voldoen aan de

arbeidshygiënische blootstellingsgrenswaarden. Stichting Koninklijk Nederlands normalisatie instituut (NEN), 2019.

NEN-EN 482. Werkplekatmosfeer - Procedures voor de bepaling van de concentraties van chemische stoffen - Algemene prestatiekenmerken. Stichting Koninklijk Nederlands normalisatie instituut (NEN), 2021.

NIOSH. NIOSH 7602. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Silica, Crystalline by IR: Method 7602, Issue 3. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 2003a.

NIOSH. NIOSH 7500. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Silica, Crystalline by XRD (filter redeposition), Issue 4. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 2003b.

NS Technisch onderzoek. Voorbereidend onderzoek naar een praktisch bruikbare methode voor het meten van de stof- en kwartsconcentratie in de lucht bij het lossen van ballast. NSTO/4/10.133/0045, 1994.

NS Technisch Onderzoek. Resultaten van stof- en kwartsconcentratie metingen in de lucht bij het lossen van basalt, porfier en gneis gedurende de periode 7 juni tot en met 3 oktober 1994. NSTO/4/10.133/0047, oktober 1994.

NS Technisch Onderzoek, Een vergelijkend onderzoek naar het vrijkomen van stof bij het lossen van "gewassen" en "niet gewassen" porfier. NSTO/4/10.133/0050, juni 1995.

Perseus Advies en Projecten. Kwartsstofmetingen spoorwerkzaamheden Venray - gevaren van kwartsstof voor de gezondheid van medewerkers van Swietelsky Rail bij werkzaamheden met kwartshoudende ballast. Publicatie PAP 171.015.01, 9 augustus 2017.

Perseus Advies en Projecten. Stofmetingen spoorwerkzaamheden Geldermalsen – Voordelen van basalt als ballast materiaal voor de gezondheid van medewerkers Swietelsky Rail bij werkzaamheden aan het spoor. Publicatie PAP 181.002.05, 16 april 2018.

Tromp PC. Onderzoek naar het vrijkomen van stof en schadelijke componenten tijdens handelingen met ballast. TNO rapport TNO 2020 R11703A, 31 augustus 2021.

van Balen P, Willems JG, Houba R. Grenswaarden voor blootstelling aan fijnstof in spoortunnels. PreventPartner, kenmerk 20201002-1PvB (Def), 20 september 2020a.

9 Ondertekening

Naam en adres van de opdrachtgever

ProRail
de heer A.X. Kappers
Postbus 2038
3500 GA Utrecht

Naam en functies van medewerkers

Peter Tromp
Johan Esveld
Suzanne Spaan
Thérèse Maarschalkerweerd
Marcel Moerman
Jan Pieter Lollinga
Lieuwe van Doorn
Luuk Thijssen
Mark Diks
Ties Korstanje

Namen van instanties en instellingen waar een deel van het onderzoek is uitbesteed

RPS Analyse bv - Analyse kwarts en cristobaliet conform NIOSH 7602
De analyse is uitgevoerd onder RvA Testen accreditatie (registratienummer L192).

Kwaliteitsborging

Het onderzoek is uitgevoerd onder een kwaliteitssysteem dat voldoet aan ISO-9001.

Datum waarop of tijdsbestek waarin het onderzoek heeft plaatsgehad

02-02-2021 – 21-12-2023

Naam en paraaf tweede lezer

Dr. W. Fransman

Ondertekening

Utrecht,

TNO

Dr. G.P. Wyers
Research Manager

Drs. P.C. Tromp
Auteur

Bijlage A: Uniform meetprotocol

Het meetprotocol bevat richtlijnen voor het meten van inhaalbaar en respirabel stof en respirabel kwartsstof voor de beoordeling van de persoonlijke blootstelling op de werkplek bij het uitvoeren van werkzaamheden met ballast. Bij het opstellen van het meetprotocol is uitgegaan van de principes in de NEN-EN 689 [Blootstelling op de werkplek - Meting van de inhalatieblootstelling aan chemische stoffen - Strategie om te voldoen aan de arbeidshygiënische blootstellingsgrenswaarden] en de NEN-EN 482 [Werkplekatmosfeer - Procedures voor de bepaling van de concentraties van chemische stoffen - Algemene prestatiekenmerken].

A1. Meetstrategie

Bij het uitvoeren van de metingen wordt uitgegaan van een realistisch 'worst-case' scenario, waardoor de kans op onderschatting van de mate van blootstelling zeer klein is. Dit betekent onder andere dat de metingen moeten worden uitgevoerd bij droog weer zonder neerslag en mist en bij een zwakke tot matige wind (maximaal windkracht 4). Bij voorkeur is minstens drie dagen voorafgaand aan de uitvoering van de metingen geen sprake van neerslag geweest.

Meetduur en monsterneming- en analysemethoden moeten zodanig worden gekozen dat de detectiegrenzen voldoende laag zijn om concentraties van minimaal 10% van de grenswaarde vast te kunnen stellen.

Voor het bepalen van de meetduur dienen ook de volgende richtlijnen in acht te worden genomen:

- Er dient rekening te worden gehouden met het doel van de meting:
 - Taakgerichte metingen (gedurende de stofvormende handelingen waarbij de hoogste blootstellingsniveaus worden verwacht). Hierbij wordt gemeten gedurende de volledige duur van de handeling (taak).
 - Representatieve metingen voor een 8-uurs blootstelling. Hierbij wordt zo lang mogelijk gemeten, bij voorkeur gedurende de hele werkdag. Bij korter meten moet bij het kiezen van de meetduur rekening worden gehouden met de blootstellingsvariabiliteit gedurende de dag; de te bemeten periode over de werkdag moet representatief zijn voor een werkdag. Hierbij wordt een minimale meetduur aangehouden van ca. 2 uur.
- Voor toetsing aan de grenswaarde als tijdgewogen gemiddelde (TGG) concentratie over 15 minuten (15-min TGG) geldt een minimale meetduur van 15 minuten tijdens de uitvoering van de activiteit waar de hoogste stofemissie te verwachten is.

In geval van veel verschillende taken/ functies en veel verschillende omstandigheden is het vaak het efficiëntst om te kiezen voor een strategie met persoonlijke taakgerichte metingen tijdens een aantal veelvoorkomende (en bij voorkeur overlappende) taken waarbij de hoogste stofemissie wordt verwacht. Op basis van de resultaten van deze metingen en informatie over de blootstellingsduur en - frequentie kunnen dan per blootstellingsgroep 8-uurs TGG concentraties worden uitgerekend.

Voor een verkennend onderzoek, waarbij de resultaten van het onderzoek worden getoetst aan een percentage van de grenswaarde, dienen 3 – 5 persoonsgebonden

metingen per blootstellingsgroep (SEG) en/of handeling uitgevoerd te worden. Om de resultaten van een blootstellingsonderzoek met behulp van een statistische toets met de grenswaarde te kunnen vergelijken dienen minimaal 6 metingen per blootstellingsgroep en/of handeling uitgevoerd te worden, verdeeld over verschillende medewerkers en verspreid over meerdere locaties. De manier waarop de resultaten van de metingen per blootstellingsgroep worden getoetst aan de grenswaarden is afhankelijk van het aantal metingen dat per blootstellingsgroep wordt verzameld (zie A1).

A2. Meetmethoden

Inhaleerbaar stof en respirabel stof wordt bemonsterd op Teflon, PVC of MCE filters met behulp van samplers die voldoen aan de definities voor inhaleerbaar en respirabel stof conform NEN-EN 481 [Werkplekatmosfeer - Definitie van de deeltjesgrootteverdeling voor het meten van de in de lucht zwevende deeltjes]. Voor inhaleerbaar stof zijn onder andere de IOM inhalable dust sampler (2 L/min), Casella CIS conical inhalable dust sampler (3,5 L/min) en de PAS-6 personal air sampler (2 L/min) geschikte filterhouders. Voor respirabel stof zijn de "Higgins-Dewell" type cyclonen (onder andere SKC plastic cyclone, 3 L/min; Casella plastic cyclone, 2,2 L/min), de "Dorr-Oliver" type cyclonen (onder andere SKC GS-1 cyclone, 2 L/min; Casella P101010 cyclone, 1,7 L/min) en de aluminium respirabele dust cyclonen (ca. 2,5 L/min) geschikte filterhouders. Voor respirabel kwartsstof kunnen dezelfde type cyclonen worden gebruikt als voor respirabel stof; hierbij wel het juiste type filter te worden gekozen: MCE of PVC voor analyse met FTIR en PVC voor analyse met XRD (zie A3).

Voor inzicht in de blootstellingsvariabiliteit en piekblootstellingen, inclusief mogelijke overschrijdingen van 15-min TGG grenswaarden, kunnen aanvullend aan de filtermetingen continue stofmetingen worden uitgevoerd met behulp van draagbare stofmonitors en/of stofsensoren (zogenaamde OPC's: optical particle counters). Het meetbereik van de monitor/sensor moet minimaal 0,5 - 20 µm zijn, waarbij zowel de respirabele fractie als de inhaleerbare fractie uitgelezen moet kunnen worden. De tijdsresolutie van de monitor/sensor moet worden ingesteld op maximaal 30 seconde. Voorbeelden van stofmonitors zijn: DustTrak en Grimm.

A3. Analysemethoden

De concentratie aan inhaleerbaar stof en respirabel stof wordt bepaald met behulp van gravimetrische analyse in overeenstemming met de principes uit de NEN-EN 12341 [Luchtkwaliteit - Algemene gravimetrische referentiemethode voor de bepaling van de PM10 of PM2,5-massafractie van zwevende stof in de buitenlucht]. De filters worden gewogen voor en na bemonstering met een microbalans ($\pm 1 \mu\text{g}$) tot constant gewicht in een geconditioneerde kamer (50% rel. vochtigheid, 20° C).

Respirabel kwartsstof wordt bepaald met behulp van één van de volgende twee methoden:

- Infrarood spectrometrie (FTIR) conform NIOSH 7602 [NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Silica, Crystalline by IR: Method 7602, Issue 3, 2003]. Met deze methode wordt specifiek kristalijn silica bepaald en kan in principe onderscheid worden gemaakt in de kristallijne vormen kwarts en cristobaliet. De detectiegrens van de methode is 1 µg per filter.

- Röntgendiffractie (XRD) conform of afgeleid van NIOSH 7500 [NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Silica, Crystalline by XRD (filter redeposition), Issue 4, 2003]. Met deze methode wordt specifiek kristalijn silica bepaald en kan onderscheid worden gemaakt in de kristallijne vormen kwarts, cristoballiet en trydimite. De detectiegrens van de methode is 5-10 µg per filter.

In het kader van dit onderzoek is het niet noodzakelijk om onderscheid te maken in de verschillende kristallijne vormen.

De hoeveelheid breekstof (<63 µm) in het gesteente wordt bepaald met behulp van een natte wassing conform NEN-EN 933-1 [Beproevingmethoden voor geometrische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 1: Bepaling van de korrelgrootteverdeling – Zeefmethode].

A4. Vastlegging contextuele informatie

Naast technische details met betrekking tot de uitgevoerde metingen dient de onderstaande contextuele informatie te worden vastgelegd op basis van observaties op de werkplek en aanvullende documentatie en/of metingen :

- vochtgehalte van de ballast, door een monster ballast te nemen direct voor of na de metingen en het gewicht te bepalen voor en na drogen;
- het gehalte breekstof in het ballast (zie A.3);
- beheersmaatregelen, zoals bevochtigen/besproeien voorafgaand of tijdens de stof emitterende handelingen, en bij voorkeur ook de hoeveelheid water;
- type ballast en kwartsgehalte van de ballast;
- de weersomstandigheden (temperatuur, relatieve luchtvochtigheid, windsnelheid, windrichting);
- de stofvormende handeling(en):
 - een beschrijving van de handeling(en)
 - de hoeveelheid ballast die wordt verwerkt en de tijdsperiode (duur) waarin de ballast wordt verwerkt
 - de gebruikte machines/wagons
- beschrijving van de omstandigheden op de werkplek, onder andere aanwezigheid van gebouwen en objecten, de ligging van de spoorbaan, de positie van de werknemer(s) ten opzichte van de emissiebron
- situatieschets, inclusief de positie en afstand van de werknemer ten opzichte van de emissiebron en de heersende windrichting
- eventuele beschermingsfactoren, zoals in cabine met/zonder overdruk, adembescherming (met P3 of FFP3 filter);

A5. Toetsing aan grenswaarden

In Tabel A. 1 staan de grenswaarden samengevat die gelden voor werkzaamheden met ballast.

Tabel A. 1 Grenswaarden voor inhaleerbaar, respirabel stof en respirabel kwarts

Stof	8 uur TGG	15 min TGG
Inhaleerbaar stof (mg/m ³)	4	8
Respirabel stof (mg/m ³)	1,25	2,5
Respirabel kwartsstof (ug/m ³)	75	-

Bij een verkennend onderzoek (3 – 5 metingen) worden de individuele meetresultaten op getoetst aan een percentage van de grenswaarde (GW):

- 3 metingen, alle resultaten <0,1 GW;
- 4 metingen, alle resultaten <0,15 GW;
- 5 metingen, alle resultaten <0,2 GW;

Wanneer per blootstellingsgroep (SEG) en/of handeling 6 metingen of meer zijn uitgevoerd worden de meetresultaten op basis van een statistische toets vergeleken met de grenswaarde. Hierbij geldt als criterium voor “compliance” dat met 70% zekerheid kan worden gesteld dat <5% van de blootstelling in de SEG de grenswaarde overschrijdt.

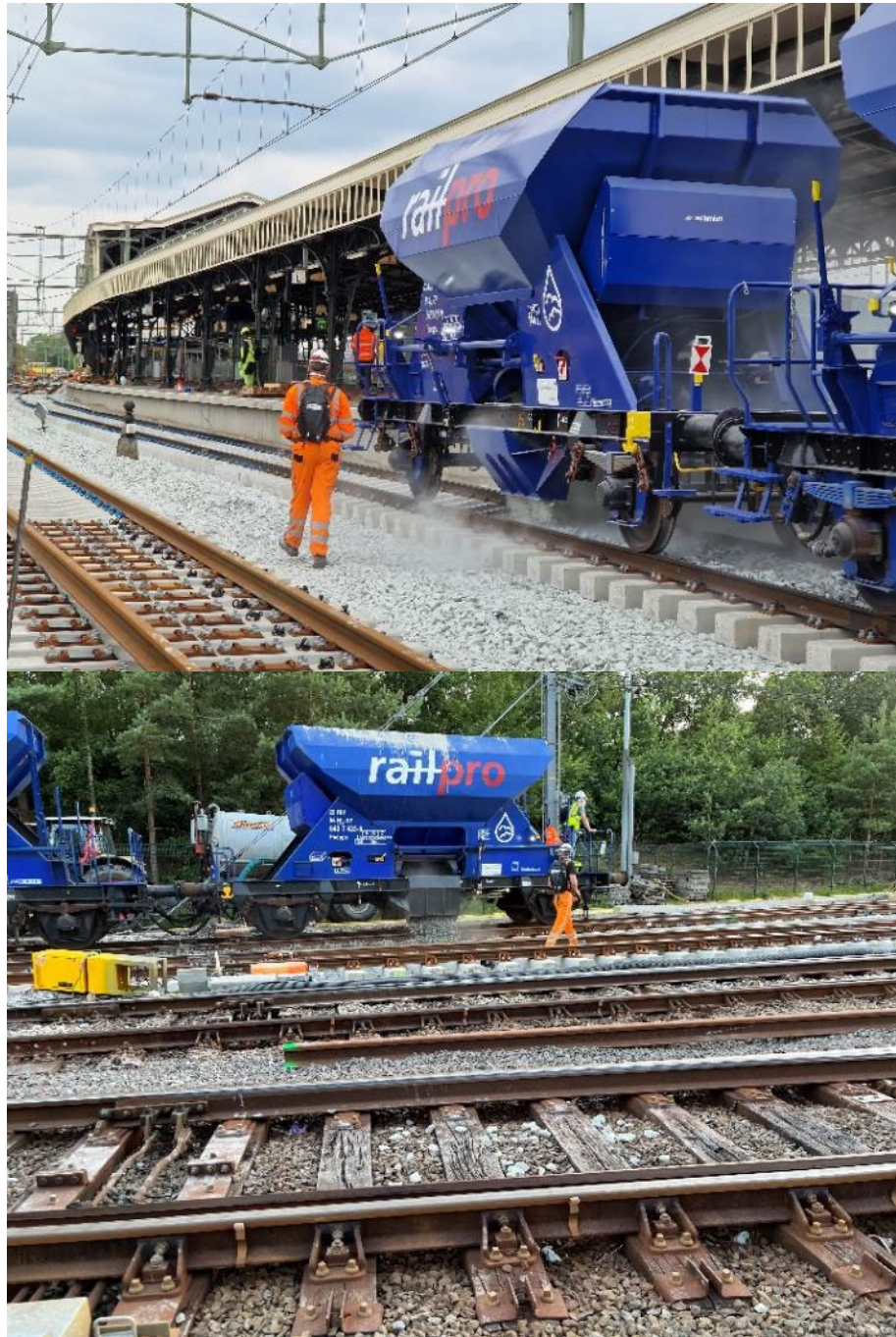
Bijlage B: Beeldmateriaal

In de bijlage zijn per activiteit representatieve foto's opgenomen van de metingen.

B1. Lossen FACCS



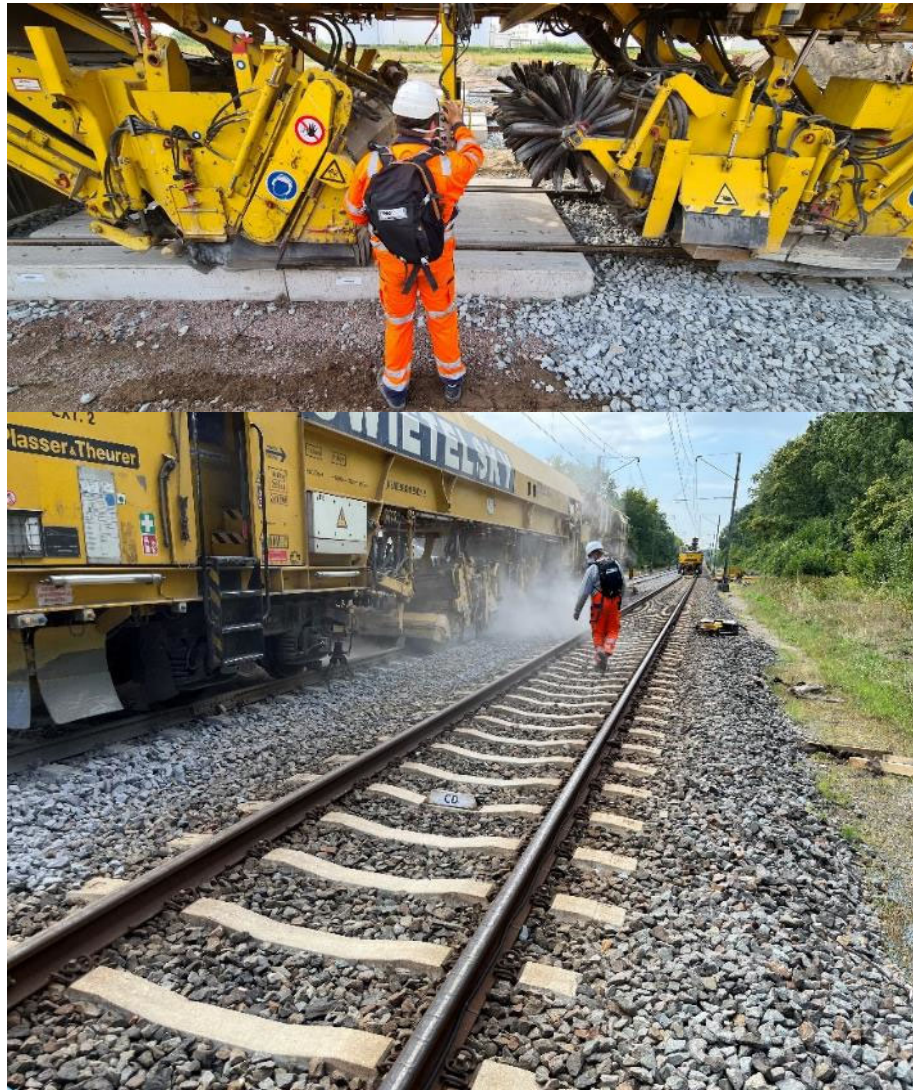
B2. Lossen SALT wagons



B3. Stoppen



B4. Profileren



B5. Kettinghorren



Bijlage C: Gedetailleerde meetresultaten

In Tabel C.1 staan de gemeten concentraties inhaleerbaar stof, respirabel stof, en respirabel kwartsstof van de stationaire metingen die zijn uitgevoerd bij handelingen met metazandsteen ballast uit Bremanger weergegeven. Het percentage respirabel kwartsstof (tussen haakjes weergegeven) is berekend uit de concentratie respirabel stof en respirabel kwartsstof. Het gaat hierbij om realistische tot extreme worst-case metingen dichtbij de stofvormende bron/activiteit. De resultaten geven een indicatie van emissie uit de blootstellingsbron(nen) en de maximaal te verwachten persoonlijke blootstelling van de werknemers tijdens het uitvoeren van deze activiteiten.

Tabel C.1 Concentratie inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwarts, stationair gemeten dichtbij de diverse handelingen met metazandsteen ballast uit Bremanger.

Nr. 6)	SEG 7)	Activiteit / handeling	Meetduur (minuten)	Inhaleer- baar stof (mg/m ³) ^{3,4)}	Respirabel stof (mg/m ³) ^{3,4,5)}	Respirabel kwartsstof (µg/m ³) ^{1,2,3,5)}
<i>Conventioneel laden en lossen – realistische ‘worst-case’</i>						
1	4A / 4B / 5	Beladen vrachtwagens uit depot met shovel bij de verwerker (GIB), depot wordt besproeid, Amsterdam	185 / 185	0,22 / 0,28	0,05 / 0,03	11 (21%)
2	4A / 4B / 5	Overslag vanuit vrachtwagens, via tussendepot, in SALT wagons, depot nat gehouden door nevelkanon, Amsterdam	125 / 123	0,07 / 0,19	0,06 / 0,12	3,9 (3%)
<i>Lossen ballast in het spoor (SALT wagons) – emissiemeting / extreme ‘worst-case’</i>						
8	1B	Lossen SALT wagons in het spoor met haperend sproeisysteem, Zutphen	35 / 32	52 / 106	3,3 / 4,1	- / -
9	1B	Lossen SALT wagons in het spoor met goed functionerend sproeisysteem, Zutphen	26 / 26	4,6 / 6,6	0,4 / 1,5	22 (1,5%)
15	1B	Lossen SALT wagons in het spoor met functionerend sproeisysteem en vooraf extra besproeid, Alkmaar	9 / 15	11 / 2,5	0,9 / 1,7	68 (8%)
<i>Spooronderhoudsmachines – emissiemeting / extreme ‘worst-case’</i>						
11	2A	Stopmachine (type 4S), onduidelijk of ballastbed vooraf is besproeid, Zutphen	30	13	5,8	550 (10%)
12	2B	Profileermachine (type BDS), onduidelijk of ballastbed vooraf is besproeid, Zutphen	19 / 19	51 / 24	9,1 / 6,1	800 (9%)
29	2A	Stopmachine 4S, Amsterdam	5 / 10	5,8 / 7,2	- / 4,2	- / 478 (11%)
<i>Treinpassages – realistische ‘worst-case’</i>						
13	9	Eerste treinpassages na onderhoudswerkzaamheden, Zutphen	129	0,7	0,1	11 (10%)

- 1) De getallen tussen haakjes geven het percentage respirabel kwartsstof in respirabel stof aan.
- 2) De analyse van respirabel kwartsstof is uitgevoerd op het filter met de hoogste concentratie respirabel stof.
- 3) Grenswaarden voor inhaleerbaar en respirabel stof en respirabel kwartsstof zijn achtereenvolgens 4 mg/m³, 1,25 mg/m³ en 75 µg/m³.
- 4) Waarden gescheiden door een schuine streep (/) zijn duplo metingen, parallel verzameld bij dezelfde activiteit.
- 5) Een liggend streepje (-) betekent dat er geen meting is uitgevoerd, of dat het betreffende filter niet is geanalyseerd.
- 6) Het unieke nummer van de meetsessie bij een bepaalde activiteit; dit nummer komt terug in Tabel 6 (overzichtstabel) en tabellen met gedetailleerde meetresultaten (Tabel C.2 en Tabel C.3 in deze bijlage)

- 7) Het nummer van de SEG. Nummering blootstellingsgroepen (SEGs) komt terug in Tabel 1 (overzichtstabel) en tabellen met gedetailleerde meetresultaten (Tabel C.2 en Tabel C.3 in deze bijlage).

In Tabel C.2 staan de gemeten concentraties inhaleerbaar stof, respirabel stof, en respirabel kwartsstof van de stationaire metingen die zijn uitgevoerd bij onderhoudswerkzaamheden aan het spoor met diverse typen ballast weergegeven. Hierbij zijn de resultaten van de realistische tot extreme worst-case stationaire emissiemetingen dichtbij de bron cq. stofvormende activiteit samengevoegd. De resultaten van de realistische worst-case emissiemetingen geven een indicatie van de emissie uit de blootstellingsbron(nen) en maximaal te verwachten persoonlijke blootstelling van betrokken werknemers tijdens het uitvoeren van deze activiteiten.

Tabel C.2 Concentratie inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwartsstof, stationair gemeten dichtbij de diverse handelingen met verschillende typen ballast gesteente.

Nr. 8)	SEG 9)	Activiteit / handeling	Meetduur (minuten)	Inhaleer- baar stof (mg/m ³) 3,4,5)	Respirabel stof (mg/m ³) 3,4)	Respirabel kwartsstof (µg/m ³) 1,2,3,5)
<i>Conventioneel ontgraven, storten, laden & lossen / profileren – realistische ‘worst-case’</i>						
3	4A / 4B	Ontgraven met shovel en lossen in Klmos wagons met rupskraan, Zutphen	72 / 72	1,4 / 1,5	0,07 / 0,10	7,4 (8%)
4/5	4A / 4B	Lossen Klmos wagons met shovel en rupskraan, uitspreiden en nivelleren onderbaan, Zutphen	108 / 108	0,61 / 0,45	0,08 / 0,14	-
18	4B / 5	Beladen vrachtwagens met oude ballast, ballastbed vooraf besproeid, Barneveld	256	0,42	0,09	6,7 (7%)
16	4B / 5	Lossen oude ballast met vrachtwagens in depot, Lunteren	189	0,77	0,15	14 (9%)
17	4B / 5	Beladen van vrachtwagens met shovel uit depot, depot vooraf besproeid, Lunteren	101	1,1	0,16	9,8 (6%)
19	4B / 5	Lossen vrachtwagens en beladen lorry met krol, vrachtwagens voor lossen besproeid, Barneveld	73	0,12	0,03	-
26	4A / 4B	Lossen padmateriaal met krol op schouwpad, ballast vooraf besproeid, Lunteren	31	0,70	0,08	-
27	4B	Uitspreiden en nivelleren van schouwpad met krol, Lunteren	32	0,49	0,10	< 10 ⁶⁾
<i>Kettinghor – realistische ‘worst-case’</i>						
6	2C	Kettinghor RM85 met sproeisysteem aan, onduidelijk of ballastbed vooraf is besproeid, metingen ketting / storten / zeef, Zutphen	87 / 87 / 87	1,4 / 0,9 / 1,4 ⁷⁾	0,51 / 0,49 / 1,1 ⁷⁾	96 (19%)
7	2C	Kettinghor RM85 met sproeisysteem uit, onduidelijk of ballastbed vooraf is besproeid, metingen ketting / storten / zeef, Zutphen	62 / 64	0,87 / 0,36 / - ⁷⁾	0,16 / 0,25 / 0,53 ⁷⁾	-
<i>Lossen ballast in het spoor (FACCS wagons) – emissiemeting / extreme ‘worst-case’</i>						
14	1A	Lossen FACCS wagons, ballast is vooraf extra besproeid, Alkmaar	9	8,2	1,7	< 40 ⁶⁾
21	1A	Lossen FACCS wagons buitenkant rails, ballast is vooraf 2x besproeid, Barneveld	42 / 23	2,8 / 14	0,53 / 1,7	162 (10%)

Nr. 8)	SEG 9)	Activiteit / handeling	Meetduur (minuten)	Inhaleer- baar stof (mg/m ³) 3,4,5)	Respirabel stof (mg/m ³) 3,4)	Respirabel kwartsstof (µg/m ³) 1,2,3,5)
25	1A	Lossen FACCS wagons tussen de rails, ballast was nog nat, Barneveld	53	0,15	0,14	-
<i>Stopmachine – emissiemeting / extreme ‘worst-case’</i>						
10	2A	Stopmachine 4X, ballastbed niet van tevoren besproeid, Zutphen	11 / 12	37 / 12	12 / 5,2	-
<i>Kleinschalig onderhoud, verdichten met trilplaat – realistische ‘worst-case’</i>						
28	3	Trilplaat, depot is besproeid, ballast is redelijk vochtig, Lunteren	31	1,9	0,41	-

- 1) De getallen tussen haakjes geven het percentage kwarts in respirabel stof aan.
- 2) De analyse van respirabel kwartsstof is uitgevoerd op het filter met de hoogste concentratie respirabel stof.
- 3) Grenswaarden voor inhaleerbaar en respirabel stof en respirabel kwartsstof zijn achtereenvolgens 4 mg/m³, 1,25 mg/m³ en 75 µg/m³.
- 4) Waarden gescheiden door een schuine streep (/) zijn duplo of triplo metingen, parallel verzameld bij dezelfde activiteit.
- 5) Een liggend streepje (-) betekent dat er geen meting of analyse is uitgevoerd.
- 6) Meetresultaat < detectiegrens (<).
- 7) Simultane meting bij respectievelijk de ketting, het terugstorten en de zeefinstallatie.
- 8) Het nummer van de meetsessie; dit nummer komt terug in Tabel 4 (overzichtstabel) en tabellen met gedetailleerde meetresultaten (Tabel C.1 en C.3 in deze bijlage).
- 9) Het nummer van de SEG. Nummering blootstellingsgroepen (SEGs) komt terug in Tabel 1 (overzichtstabel) tabellen met gedetailleerde meetresultaten (Tabel C.1 en C.3 in deze bijlage).

In Tabel C.3 zijn de gemeten blootstellingen aan inhaleerbaar stof, respirabel stof, en respirabel kwartsstof van de persoonsgebonden metingen weergegeven. Het gaat hier om de resultaten van taakgerichte metingen die zijn uitgevoerd bij (grootschalige) onderhoudswerkzaamheden aan het spoor met diverse typen ballast.

Tabel C.3 Blootstelling aan inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwarts, persoonsgebonden gemeten tijdens de diverse handelingen met ballast gesteente.

Nr. 6)	SEG 7)	Activiteit / handeling	Status ballast	Meetduur (minuten)	Inhaleer- baar stof (mg/m ³) ^{2,3)}	Respirabel stof (mg/m ³) ^{2,3)}	Respirabel kwartsstof (µg/m ³) ^{1,2,3)}
<i>Beladen, lossen, ontgraven, conventioneel storten/profilieren</i>							
1	4A	Cabine shovel (dicht) – beladen vrachtwagens, Amsterdam	Nat	212	0,11	0,03	3,7 (12%)
	4A	Cabine vrachtwagen (raam afwisselend open/dicht) - beladen, transport en lossen, Amsterdam	Nat	202	- ³⁾	0,02	- ³⁾
2	4A	Cabine kraan (raam open) – beladen SALT wagons uit depot, Amsterdam	Nat	97	0,22	0,06	- ³⁾
	4A	In bobcat (open) – op een hoop duwen ballast, Amsterdam	Nat	102	0,25	< 0,07	8,9 (13%)
3/	4A	Cabine shovel (raam afwisselend open/dicht) – ontgraven & storten/nivelleren, Zutphen	Droog	184	- ³⁾	0,07	4,3 (6%)
4/	5	Cabine rupskraan (raam afwisselend open/dicht) - beladen & lossen ballast Klmos wagons, Zutphen	Droog	156	- ³⁾	0,06	- ³⁾
5		4A					
20	4A	Cabine shovel (deur open) – ontgraven, overzetten, storten, Barneveld	Nat	412	- ³⁾	0,02	- ³⁾

Nr. 6)	SEG 7)	Activiteit / handeling	Status ballast	Meetduur (minuten)	Inhaleer- baar stof (mg/m ³) ^{2,3)}	Respirabel stof (mg/m ³) ^{2,3)}	Respirabel kwartsstof (µg/m ³) ^{1,2,3)}
22	4A	Cabine krol (deur open) – bijstorten in baanvak, Barneveld	Nat	100	- ³⁾	0,18	6,1 (3%)
26	4A	Cabine krol (deur open) – lossen in schouwpad, Lunteren	Nat	124	- ³⁾	0,13	< 3 ⁴⁾
31	4A	Cabine krol - bijstorten ballast, verslepen rijplaten, Amsterdam	Nat	85	0,18	- ³⁾	- ³⁾
<i>Lossen ballast in het spoor (FACCS wagons)</i>							
21	1A.1	Bediener schuiven nr.1 FACCS wagons, Barneveld	Nat	107	2,80	0,33	12 (4%)
	1A.1	Bediener schuiven nr.2 FACCS wagons, Barneveld	Nat	99	0,44	< 0,07	5,9 (8%)
	1A.2	Dichtbij FACCS wagons tijdens lossen, Barneveld	Nat	62	0,26	0,08	12,4 (15%)
	7	Achtergrond 5 m. afstand van FACCS wagons, Barneveld ⁵⁾	Nat	274	- ³⁾	0,07	6,4 (9%)
32	1A.1	Bediener schuiven nr.1 FACCS wagons, Heerlen	Nat	148	3,18	0,08	12,1 (15%)
	1A.1	Bediener schuiven nr.2 FACCS wagons, Heerlen	Nat	150	1,06	0,01	7,7 (64%)
	1A.1	Bediener schuiven nr.3 FACCS wagons, Heerlen	Nat	150	2,13	0,10	12,3 (12%)
	1A.2	Begeleider lossen, Heerlen	Nat	149	1,06	0,04	9,5 (24%)
	5	Begeleider trein (achter), Heerlen	Nat	139	0,31	0,02	6,2 (41%)
	6	Machinist lossen FACCS, Heerlen	Nat	148	0,86	0,01	6,7 (75%)
39/ 40/ 41	1A.1	Bediener schuiven nr.1 FACCS wagons, Culemborg	Nat	140	1,88	0,03	3,2 (10%)
	1A.1	Bediener schuiven nr.2 FACCS wagons, Culemborg	Nat	141	1,17	0,05	7,0 (13%)
	1A.1	Bediener schuiven nr.3 FACCS wagons, Culemborg	Nat	140	0,84	0,08	7,1 (9%)
	1A.1	Bediener schuiven nr.4 FACCS wagons, Culemborg	Nat	140	4,06	0,12	9,6 (8%)
	1A.2	Begeleider lossen nr.1, Culemborg	Nat	139	1,99	0,13	22,5 (17%)
	1A.2	Begeleider lossen nr.2, Culemborg	Nat	139	0,83	0,34	25,9 (8%)
	5	Veiligheidsbegeleider FACCS wagons, Culemborg	Nat	140	0,35	0,06	3,7 (6%)
<i>Lossen ballast in het spoor (SALT wagons)</i>							
8/9	1B	Bediener loskleppen SALT wagons, Zutphen (geen sproeier)	Droog	85	- ³⁾	0,43	54 (13%)
15	1B	Bediener loskleppen nr.1 SALT wagons, Alkmaar	Nat	148	0,25	0,14	4,6 (3%)
	1B	Bediener loskleppen nr.2 SALT wagons, Alkmaar	Nat	148	0,20	0,05	< 2,2 ⁴⁾
	5	BBD-er treinbegeleider SALT wagons, Alkmaar	Nat	189	0,17	0,01	3,9 (39%)
	7	Achtergrond 5 m. afstand van SALT wagons, Alkmaar	Nat	99	0,28	0,07	6,6 (9%)

Nr. 6)	SEG 7)	Activiteit / handeling	Status ballast	Meetduur (minuten)	Inhaleer- baar stof (mg/m ³) ^{2,3}	Respirabel stof (mg/m ³) ^{2,3}	Respirabel kwartsstof (µg/m ³) ^{1,2,3}
33	1B	Bediener loskleppen SALT wagons nr.1, Hengelo bovenwinds (geen sproeier)	Droog	62	1,55	0,61	44,8 (7%)
	1B	Bediener loskleppen SALT wagons nr.2, Hengelo benedenwinds (geen sproeier)	Droog	45	68,20	4,30	360,2 (8%)
	5	Veiligheidsbegeleider SALT wagons, Hengelo	Droog	59	0,74	0,14	8,1 (6%)
	6	Machinist lossen SALT wagons, Hengelo	Droog	71	0,45	0,01	< 5 ⁴)
37	1B	Bediener loskleppen SALT wagons nr.1, Amersfoort	Nat	78	1,11	0,13	6,8 (5%)
	1B	Bediener loskleppen nr.2 SALT wagons nr.2, Amersfoort	Nat	78	0,48	0,10	< 4 ⁴)
	5	Veiligheidsbegeleider SALT wagons, Amersfoort	Nat	77	0,38	0,10	4,4 (4%)
	6	Machinist lossen SALT wagons, Amersfoort	Nat	89	0,16	0,11	< 4 ⁴)
45	1B	Bediener loskleppen SALT wagons nr.1, Schin op Geul	Nat	78	0,85	0,19	4,2 (2%)
	1B	Bediener loskleppen SALT wagons nr.2, Schin op Geul	Nat	62	2,21	0,20	17,9 (9%)
	1B	Bediener loskleppen SALT wagons nr.3, Schin op Geul	Nat	79	1,74	0,19	< 4,2 ⁴)
<i>Kettinghor</i>							
6/7	2C.2	Cabine kettinghor, Zutphen	Droog	218	0,77	0,36	70 (19%)
	2C.1	Dichtbij kettinghor (operator, vegers), Zutphen	Droog	173	-	0,14	17 (12%)
36	2C.1	Uitvoerder buiten kettinghor nr.1, Ruurlo	Nat	63	8,29	0,22	67,5 (31%)
	2C.1	Uitvoerder buiten kettinghor nr.2, schoonmaker transportbanden, Ruurlo	Nat	85	0,40	0,02	6,0 (35%)
	2C.1	Controleur buiten kettinghor, Ruurlo	Nat	66	0,77	0,06	12,1 (22%)
	2C.2	Uitvoerder binnen kettinghor, Ruurlo	Nat	67	0,31	0,06	16,6 (29%)
	2C.3	Worteldoeklegger, Ruurlo	Nat	65	1,65	0,11	17,3 (16%)
	5	Veiligheidsbegeleider kettinghor, Ruurlo	Nat	72	0,39	0,04	< 3 ⁴)
42	6	Machinist kettinghor, Ruurlo	Nat	106	0,11	0,10	< 3 ⁴)
	2C.1	Uitvoerder buiten kettinghor nr. 1, Voerendaal	Nat	208	3,08	0,23	32,5 (14%)
	2C.1	Uitvoerder buiten kettinghor nr. 2, Voerendaal	Nat	203	2,48	0,42	47,9 (11%)
	2C.2	Uitvoerder binnen kettinghor, Voerendaal	Nat	207	0,16	0,14	19,0 (14%)
	2C.3	Worteldoeklegger nr. 1, Voerendaal	Nat	219	1,69	0,14	15,9 (12%)
	2C.3	Worteldoeklegger nr. 2, Voerendaal	Nat	218	1,29	0,21	18,8 (9%)
	2C.3	Worteldoeklegger nr. 3, Voerendaal	Nat	218	2,21	0,29	28,7 (10%)
	2C.3	Worteldoeklegger nr. 4, Voerendaal	Nat	221	1,00	0,03	3,6 (11%)
44	2C.3	Worteldoeklegger nr. 5, Voerendaal	Nat	228	2,57	0,51	53,2 (10%)
	2C.1	Uitvoerder buiten kettinghor nr. 1, Schin op Geul	Nat	92	10,28	1,03	82,8 (8%)
	2C.1	Uitvoerder buiten kettinghor nr. 2, Schin op Geul	Nat	109	5,16	0,66	64,3 (10%)
	2C.2	Uitvoerder binnen kettinghor, Schin op Geul	Nat	108	0,60	0,13	16,6 (13%)
<i>Stopmachine</i>							

Nr. 6)	SEG 7)	Activiteit / handeling	Status ballast	Meetduur (minuten)	Inhaleer- baar stof (mg/m ³) ^{2,3)}	Respirabel stof (mg/m ³) ^{2,3)}	Respirabel kwartsstof (µg/m ³) ^{1,2,3)}
	2A.2	Cabine (dicht) stopmachine, Barneveld	Nat	92	0,97	0,04	< 4 ⁴⁾
	2A.1	Bij stopmachine (bemanning), Barneveld	Nat	96	0,47	0,20	3,7 (2%)
23	2A.1	Operator dichtbij stopmachine, Barneveld	Nat	87	1,30	0,15	< 4 ⁴⁾
	7	Achtergrond 5mtr afstand van stopmachine, Barneveld	Nat	77	0,17	0,07	4,6 (7%)
29	2A.1	Uitvoerder stopmachine buiten, Amsterdam	Nat	49	0,32	0,26	< 7 ⁴⁾
	2A.1	Uitvoerder stopmachine buiten, Amsterdam	Nat	42	1,15	- ³⁾	- ³⁾
	2A.1	Uitvoerder buiten stopmachine nr.1, Oldenzaal	Droog	94	0,30	0,07	15,9 (25%)
34	2A.2	Uitvoerder binnen stopmachine nr.1, Oldenzaal	Droog	92	0,25	0,05	< 4 ⁴⁾
	5	Veiligheidsbegeleider stoppen, Oldenzaal	Droog	92	0,44	0,03	4,0 (16%)
	6	Machinist stopmachine nr.1, Oldenzaal	Droog	91	0,82	0,02	< 4 ⁴⁾
	2A.1	Uitvoerder buiten stopmachine nr.2, Oldenzaal (schaduwmeting)	Droog	78	1,34	0,20	21,3 (11%)
35	2A.2	Uitvoerder binnen stopmachine nr.2, Oldenzaal	Droog	83	0,75	0,07	7,8 (12%)
	6	Machinist stopmachine nr.2, Oldenzaal	Droog	82	0,08	0,07	9,3 (14%)
	2A.1	Uitvoerder buiten stopmachine, Eindhoven	Nat	330	0,33	0,08	5,0 (6%)
	2A.2	Uitvoerder binnen stopmachine, Eindhoven	Nat	331	0,32	0,15	10,1 (7%)
38	2A.3	Maatvoerder stoppen nr.1, Eindhoven	Nat	296	0,22	0,03	2,3 (7%)
	2A.3	Maatvoerder stoppen nr.2, Eindhoven	Nat	287	0,08	0,04	2,4 (7%)
	5	Veiligheidsbegeleider stoppen, Eindhoven	Nat	286	0,37	0,05	3,6 (7%)
	6	Machinist stopmachine, Eindhoven	Nat	332	1,29	0,03	1,6 (5%)
39	2A.3	Maatvoerder stoppen nr.1, Culemborg	Droog	87	0,22	0,16	4,7 (3%)
	2A.3	Maatvoerder stoppen nr.2, Culemborg	Droog	92	0,23	0,09	6,3 (7%)
47	2A.3	Maatvoerder stoppen, Schin op Geul	Droog	97	0,44	0,09	< 4 ⁴⁾
12	3	Bediener trilplaat, Lunteren	Nat	47	1,5	0,29	< 7 ⁴⁾
<i>Profileermachine</i>							
	2B.1	Achterkant profileermachine binnen (BDS), Zutphen	Droog	92	- ³⁾	0,34	14,1 (4%)
12	5	BBD-er treinbegeleider profileermachine (BDS), Zutphen	Droog	92	- ³⁾	0,25	5,0 (2%)
	7	Achtergrond 5 m. afstand van profileermachine (BDS), Zutphen	Droog	26	2,10	0,46	- ³⁾
30	2B.1	Uitvoerder buiten profileren, Amsterdam	Nat	70	1,6	0,88	57 (6%)
41	2B.2	Uitvoerder binnen profileren, Culemborg	Droog	100	0,66	0,13	6,4 (5%)
	2B.1	Uitvoerder buiten profileren nr. 1 (borstelmachine), Voerendaal	Droog	94	21,9	4,97	99,4 (2%)
43	2B.1	Uitvoerder buiten profileren nr. 2 (borstelmachine), Voerendaal	Droog	92	37,3	4,95	161,8 (3%)
	2B.2	Uitvoerder binnen profileren, Voerendaal	Droog	95	0,77	0,36	18,1 (5%)
	2B.1	Uitvoerder buiten profileren nr. 1, Schin op Geul	Droog	90	4,36	0,53	6,7 (1%)
46	2B.1	Uitvoerder buiten profileren nr. 2, Schin op Geul	Droog	90	2,78	0,85	92,1 (11%)
	2B.2	Uitvoerder binnen profileren, Schin op Geul	Droog	90	0,63	0,05	10,3 (19%)

- 1) De getallen tussen haakjes geven het percentage kwarts in respirabel stof
- 2) Grenswaarden voor inhaleerbaar en respirabel stof en respirabel kwarts zijn achtereenvolgens 4 mg/m^3 , $1,25 \text{ mg/m}^3$ en $75 \text{ }\mu\text{g/m}^3$.
- 3) Een liggend streepje (-) betekent dat er geen meting of analyse is uitgevoerd. Dit heeft diverse oorzaken, enerzijds kan het gaan om een mislukte meting/analyse anderzijds was het soms niet mogelijk om een extra meting te plaatsen. Voor respirabel kwartsstof zijn soms niet alle analyses uitgevoerd, vanwege de lage respirabel stofconcentratie en/of al voldoende inzicht in de blootstelling binnen een SEG
- 4) Meetresultaat < detectiegrens (<)
- 5) De meting is de achtergrond bij het lossen met FACCS wagons en de stopmachine (nr. 23)
- 6) Het nummer van de meetsessie; dit nummer komt terug in Tabel 6 (overzichtstabel) en tabellen met gedetailleerde meetresultaten (Tabel C.1 en Tabel C.2 in deze bijlage).
- 7) Het nummer van de SEG. Nummering blootstellingsgroepen (SEGs) komt terug in Tabel 6 (overzichtstabel) en tabellen met gedetailleerde meetresultaten (Tabel C.1 en Tabel C.2 in deze bijlage)