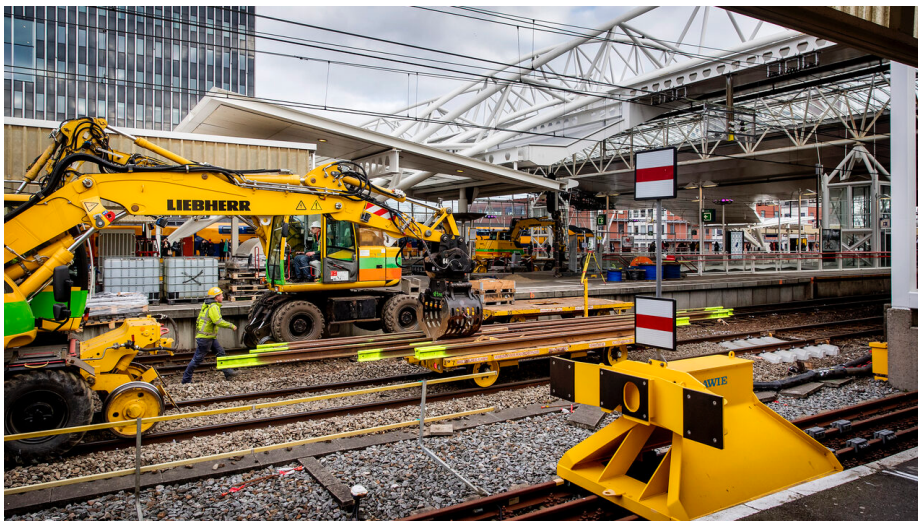


# Gezondheidsrisico's van blootstelling van derden aan respirabel kwarts en fijnstof door ballastroerende werkzaamheden.

*ProRail*



**Datum:** 3 juli 2024

**Auteurs:** Drs. ing. P. van Balen MSc, Dr. ir. R. Houba

**Review versie 1:**

Expertteam ProRail; 18 november 2021

Akkoord Expertteam ProRail; 13 december 2021

**Aanvulling voor versie 2:**

Bespreking opdrachtgever: 2 april 2024

**Onderwerp:** Gezondheidsrisico's van derden door blootstelling aan fijnstof en  
respirabel kwarts

**Kenmerk:** ProRail 2024-01\_versie 2\_definitief

## Managementsamenvatting

In april 2021 had het programma Zembla een uitzending over de blootstelling van werknemers aan stof afkomstig van kwarts houdende ballast. Naar aanleiding van die uitzending is er ook gesuggereerd dat er mogelijk gezondheidsrisico's zijn voor andere potentieel blootgestelde groepen, zoals omwonenden, reizigers en medewerkers van ProRail of andere organisaties die werkzaamheden uitvoeren in de nabijheid van de ballastroerende werkzaamheden.

De relevante vraag wordt daarmee: 'Worden deze groepen blootgesteld tijdens ballastroerende werkzaamheden, en zo ja wat is dan het gezondheidsrisico?'. ProRail heeft PreventPartner gevraagd hen te ondersteunen bij het beantwoorden van deze vraag.

Als hoofdvraag voor het onderzoek is geformuleerd: Zijn er gezondheidsrisico's voor derden door blootstelling aan respirabel kwartsstof in verband met ballastroerende werkzaamheden bij onderhoud en vernieuwing van spoortrajecten?

Om die vraag te kunnen beantwoorden zijn de volgende deelvragen gesteld

1. In welke situaties kunnen derden worden blootgesteld aan respirabel kwartsstof uit ballast?
2. Welke groepen blootgestelden kunnen worden onderscheiden in die situaties?
3. Hoe hoog kan die blootstelling zijn?
4. Welke gezondheidsrisico's kunnen voor derden samenhangen met de blootstelling aan respirabel kwarts?
5. Zijn er nog ander risico's mogelijk zijn dan blootstelling aan respirabel kwarts zoals blootstelling aan fijnstof?

Om een antwoord te geven op de vraagstellingen zijn:

- In werksessies met sleutelinformanten de blootstelling scenario's in kaart gebracht voor 4 kortdurende werksituaties.
- Naar aanleiding van een meer langdurig tussen-depot in Apeldoorn zijn aanvullende analyses uitgevoerd naar de blootstelling van omwonenden.
- Is in de wetenschappelijke en grijze literatuur is gezocht naar informatie die gebruikt kan worden om de hoogte van de blootstelling van derden te bepalen. Daarbij is met name gebruik gemaakt van die bronnen waar kwantitatieve informatie over blootstelling aan respirabel stof en respirabel kwarts in vermeld staat.
- ProRail heeft TNO onderzoek laten doen naar de blootstelling aan inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwartsstof bij ballastroerende werkzaamheden. Deze informatie is verwerkt in de risicoschatting.
- Daar waar geen directe informatie beschikbaar was op basis van metingen is modelmatig een inschatting gemaakt van de concentratie respirabel kwartsstof waar een blootgestelde groep in een bepaalde situatie maximaal aan kon worden blootgesteld.

Er zijn 5 type werkzaamheden onderscheiden:

1. Ballast roerende werkzaamheden in een tunnel.
2. Ballast roerende werkzaamheden op een station nabij perrons.
3. Ballast roerende werkzaamheden buiten stations.
4. Tijdelijke depot van ballast als werkvoorraad voor werkzaamheden zoals genoemd bij 1-3.
5. Een langdurig tussendepot met diverse soorten ballast (afkomstig van het tracé, kwartshoudende en kwartsloze verse ballast).

De volgende groepen blootgesteld zijn onderscheiden:

- Beroepsgebonden:
  - Treinmachinisten en - conducteurs.
  - Personeel aanwezig op perrons; storingsmonteurs, perronmedewerkers, servicemedewerkers, station managers, station logistiek, procesleiders, kioskmedewerkers (op perron), schoonmakers, crowd control, veiligheid & security personeel, politie/brandweer/ambulance, externen werkzaam op het perron (bijv. aannemers).
  - Inspecteurs en bouwmanagers van ProRail.
  - Schoonmakers, schilders, onderhoudsmedewerkers en aannemers tijdens specifieke werkzaamheden.
- Niet-beroepsgebonden:
  - Reizigers.
  - Winkeland publiek (onder deze groep worden ook winkelpersoneel op stations en medewerkers fietsenstallingen gerekend).
  - Omwonenden.
  - Omstanders/toeschouwers.

Voor 4 type werkzaamheden en de blootgestelde groepen zijn 4 matrices met blootstellingsscenario's opgesteld. Voor de blootstelling van omwonenden is een apart blootstellingsscenario opgesteld gebaseerd op de uitwerking van het depot in Apeldoorn.

Voor het berekenen van de concentratie respirabel kwarts op een bepaalde afstand van de bron is waar mogelijk gebruik gemaakt van de directe meetgegevens bij een bewerking. Anders is de concentratie berekend met behulp van modellen gebruikt om die inschatting te maken. De kwantitatieve gegevens uit de TNO-rapporten zijn daarbij vertaald naar concentraties respirabel kwartsstof met behulp van het rekenmodel voor dispersie van pluimen dat is geïncorporeerd in het spreadsheet IHMOD\_2\_0.xlsx. Dit model is bruikbaar voor het inschatten van concentraties op beperkte afstanden van de bron.

De concentratie berekeningen zijn gemaakt voor een gemiddelde windsterkte van 4,5 meter/sec. Dit is de langjarig gemiddelde windsnelheid van 15 meetstations verspreid over heel Nederland over het tijdvak 1991 - 2020.

Voor de situaties 1 t/m 4 is de waarde voor beroepsmatige blootstelling omgerekend naar een daggemiddelde concentratie respirabel kwarts (TGG8uur). De blootstelling voor niet beroepsmatige blootgestellten in die 4 situaties is omgerekend naar een jaargemiddelde concentratie respirabel kwarts. Deze waarden zijn gebruikt in de toetsing aan de grenswaarden voor die groep.

Voor tussen-depots is de blootstelling van omwonenden getoetst aan de Nederlandse grenswaarden en advieswaarden van de Wereld Gezondheidsorganisatie (WHO) voor fijnstof. Deze normen zijn gegeven voor twee categorieën deeltjesgrootte: PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub>. PM<sub>10</sub> staat voor Particulate Matter (in de lucht zwevende deeltjes) met een diameter kleiner dan 10 µm. PM<sub>2,5</sub> staat voor in de lucht zwevende deeltjes met een diameter kleiner dan 2,5 µm. De jaargemiddelde grenswaarde voor PM<sub>2,5</sub> is ook gebruikt om de blootstelling voor 1 dag te toetsen.

Tabel 1. Milieunormen voor blootstelling aan fijnstof.

Stof	Norm	Waarde
PM <sub>10</sub>	Jaargemiddelde grenswaarde	40 µg/m <sup>3</sup>
	Daggemiddelde grenswaarde	50 µg/m <sup>3</sup>
	WHO advieswaarde (jaargemiddelde)	15 µg/m <sup>3</sup>
PM <sub>2,5</sub>	Jaargemiddelde grenswaarde	20 µg/m <sup>3</sup>
	WHO advieswaarde (jaargemiddelde)	5 µg/m <sup>3</sup>

Als grenswaarde voor beroepsmatige blootstelling aan kwarts is de Nederlandse wettelijke norm van 75 µg/m<sup>3</sup> gebruikt. Voor de niet beroepsmatige blootstelling is de grenswaarde voor kwarts gesteld op de jaargemiddelde norm van de staat Vermont van 0,12 µg/m<sup>3</sup>. Deze norm is ook gebruikt om de blootstelling van omwonenden aan respirabel kwarts op 1 dag te toetsen voor langdurige depots.

Om de risico's van de blootstelling aan fijn stof en respirabel kwartsstof te bepalen moeten de uitgangspunten voor analyses worden vastgesteld. Het belangrijkste uitgangspunt daarbij is geweest dat we de risico's voor de meest ongunstige situatie (worst-case) hebben beoordeeld. De volgende worst-case aannames zijn gebruikt:

1. Tijdens de werkbijeenkomst is benoemd dat de afstand van derden tot de werkzaamheden kan variëren. Als uitgangspunt voor de analyse is de minimale afstand tot de bron gebruikt, zoals genoemd in de werkbijeenkomst. Voor omstanders is deze minimale afstand 5 meter en voor omwonenden is deze minimale afstand 10 meter.
2. Ook de frequentie en duur van blootstelling kan sterk variëren. Er is steeds gerekend met de maximale frequentie en duur van de blootstelling.  
Bijvoorbeeld: als is ingeschat dat de duur van de blootstelling kan variëren van

- 5-60 minuten per dag en de blootstelling tot ca. 3 dagen per jaar kan plaatsvinden dan is gerekend met 3 dagen van 60 minuten.
3. Het kwartgehalte in het stof blijkt op basis van metingen te variëren van 1,5-18,8%. Er is steeds gerekend met een percentage kwarts in het stof van 20%.
  4. De meest stoffige activiteit is gebruikt in de analyses. Er is steeds gekozen voor de hoogst geschatte concentratie kwartsstof op een specifieke afstand tot de bron.
  5. Blootstelling treedt vooral op indien een persoon zich benedenwinds van de activiteit bevindt. In de risicoschattingen wordt er vanuit gegaan dat de blootgestelde personen zich altijd benedenwinds in de luchtstroom bevinden.
  6. De milieu blootstellingen voor omwonenden worden toegerekend naar 1 jaar, terwijl in meerdere situaties de werkzaamheden slechts eens per 5 of 10 jaar plaats vinden.
  7. Voor toekenning van de hoogte van de blootstelling is de hoogst geschatte concentratie voor de hele blootstellingsduur genomen.
  8. De beroepsmatige blootstellingen zijn tijdgewogen bepaald. Voor het bepalen van het risico voor een beroepsmatig blootgestelde groep is de hoogste tijdgewogen blootstelling genomen.
  9. Voor groepen niet beroepsmatig blootgesteld zijn alle blootstellingen bij elkaar opgeteld. Dat betekent bijvoorbeeld dat voor reizigers ervan wordt uitgegaan dat zij in één jaar in al die situaties zijn blootgesteld geweest.

De eindresultaten zijn samengevat in de onderstaande Tabel 2.

*Tabel 2. Eindresultaten van de blootstellingsschattingen voor de situaties 1 t/m 4 aan respirabel kwarts van blootgestelde groepen.*

Blootgestelde Groep	TGG(8 uur) worst-case	TGG(8 uur) 95 percentiel	TGG(8 uur) gemiddeld	Jaargemiddelde blootstelling in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ jaargemiddeld (worst-case)
Beroepsmatige blootstelling (grenswaarde is $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 8 uren TGG)				
Treinmachinisten/ conducteurs	9,09	5,69	1,07	
Storingsmonteurs/ Externe aannemers	72,70	45,50	8,55	
Overige groep 1c	72,70	45,50	8,55	
Inspecteurs/ bouwmanagers	72,70	45,50	8,55	
Groepen beroepsmatige secundaire blootstelling	7,25	7,10	4,63	
Niet beroepsmatige blootstelling / omgevingsblootstelling (grenswaarde is $0,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ jaargemiddeld)				
Winkelend publiek (w.o. ook winkelpersoneel / medewerkers fietsenstalling)				0,001

Blootgestelde Groep	TGG(8 uur) worst-case	TGG(8 uur) 95 percentiel	TGG(8 uur) gemiddeld	Jaargemiddelde blootstelling in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ jaargemiddeld (worst-case)
Reizigers				0,058
Omwonenden				0,103
Omstanders				0,002

Uit de tabel valt op te maken dat de blootstelling aan respirabel kwarts zowel bij beroepsmatige blootstelling als bij niet beroepsmatige blootstelling onder de gevonden grenswaarden en normen blijft:

1. De beroepsmatige blootstelling van derden blijft bij worst-case berekeningen onder de wettelijke grenswaarde voor respirabel kwarts ( $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). De werkelijke blootstelling zal lager liggen zoals blijkt uit de gevoeligheidsanalyse met berekeningen met het 95-percentiel.
2. Ook in worstcase berekeningen worden waarden voor de jaargemiddelde blootstelling voor niet beroepsmatig blootgestelde groepen gevonden die lager liggen dan de norm zoals die Vermont ( $0,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) wordt gehanteerd.

De conclusie is dat ballastroerende werkzaamheden niet leidt tot significante blootstelling aan respirabel kwartstof bij derden. Daardoor zijn bij deze blootgestelde groepen geen gezondheidseffecten te verwachten.

Situatie 5 is gebaseerd op de uitwerking van de blootstelling van omwonenden bij een langdurig tijdelijk depot in een woonwijk van de gemeente Apeldoorn in 2023. In dit depot, dat 5 maanden operationeel is geweest, is zowel reeds gebruikt kwartshoudende ballast vanuit het bestaande spoor opgeslagen als verste ballast (waarbij dit verse ballast zowel kwartshoudend als kwartsloos kan zijn). Uiteindelijk bleken direct omwonenden daar over een langere periode te zijn blootgesteld aan stof (inhaleerbaar en respirabel stof) als respirabel kwarts. Er is geconstateerd dat normen op bepaalde dagen zijn overschreden maar dat de blootstelling uiteindelijk te kort is geweest om van een significant gezondheidsrisico te spreken.

ProRail wil de maximale duur voor een tussendepot in de buurt van woningen beperken tot 3 maanden. Op een dergelijk tussendepot wordt onder andere ballast opgeslagen afkomstig van een bestaand tracé voordat het definitief kan worden afgevoerd. Dit ballast bevat kwarts en is vervuild met diverse potentieel gezondheidsgevaarlijke stoffen. Verder wordt nog beperkt kwarts houdend verse ballast opgeslagen en kwarts loze ballast voor herstel van het tracé. Uit de analyses voor Apeldoorn bleek dat de blootstelling aan de vervuilingen uit het reeds gebruikte ballast verwaarloosbaar laag was.

De analyse van de risico's bij situatie 5 (tussendepot) ging uit van 2 type emissies:

1. Emissies van stof die plaats kunnen vinden door reguliere depot-werkzaamheden die te maken hebben met het verwerken van ballast. Hiervoor is het 95-percentiel van de meetwaarden van 17 situaties uit het TNO-rapport gebruikt.
2. Emissie van stof door het vegen met een borstelwagen. Hiervoor is 1 meetwaarde van TNO (profileermachine met borstel) gebruikt als referentie.

Uit de analyse blijkt voor situatie 5:

1. Vegen is voor omwonenden de belangrijkste bron van blootstelling aan stof afkomstig van ballast.
2. De blootstelling aan respirabel kwarts (afkomstig uit zowel gebruikt als verse ballast) is de meest kritische component voor het bepalen van het gezondheidsrisico van omwonenden en de minimale afstand van het depot tot woningen.
3. Ingeval van kwartsloze ballast is de blootstelling aan inhaleerbaar stof de meest kritische factor voor het bepalen van het gezondheidsrisico van de bewoners en de minimale afstand van het depot tot woningen.
4. Voor een langdurig tussendepot, waar ook wordt geveegd, moet de minimale afstand tussen ballasthopen en woningen minimaal 100 meter zijn om onder de Nederlandse daggemiddelde grenswaarden te blijven.



## Inhoud

Managementsamenvatting	3
1. Inleiding	11
1.1 Aanleiding tot het onderzoek en opzet van project	11
1.2 Vraagstelling onderzoek	11
1.3 Opzet onderzoek	12
1.4 Indeling rapport	13
2. Blootstellingsscenario's	14
2.1 Aanpak	14
2.2 Blootstellingssituaties	14
2.3 Blootgestelde groepen	15
2.4 Blootstellingsmatrices	15
2.4.1 Situatie 1. Ballastroerende werkzaamheden in een tunnel	17
2.4.2 Situatie 2. Ballastroerende werkzaamheden op een station	18
2.4.3 Situatie 3. Ballastroerende werkzaamheden buiten stations	19
2.4.4 Situatie 4. Tijdelijk depot	20
2.4.5 Situatie 5. Tijdelijk tussen depot	21
2.5 Meetgegevens	22
2.6 Modelberekeningen	25
2.7 Worstcase situaties	26
2.8 Blootgestelde groepen berekenen	27
3. Literatuuronderzoek	29
3.1 Literatuur over fijn (kwarts)stof	29
3.1.1 Gevaren voor de gezondheid	29
3.1.2 Werkingsmechanisme respirabel kwarts	29
3.1.3 Gezondheidsrisico's van fijnstof	30
3.1.4 Normen voor blootstelling	30
3.1.4 Blootstelling	32
4. Resultaten	33
4.1 De gebruikte concentraties	33
4.2 Beroepsmatige blootstelling	34
4.2.1 Blootstellings situatie 1 (ondergronds station bij werkzaamheden in een tunnel)	34

4.2.2 Blootstellingsituatie 2 (werkzaamheden op een bovengronds station)	35
4.2.3 Blootstellingsituatie 3 en 4	36
4.2.4 Blootstelling totaal	36
4.3 Niet beroepsmatige blootstelling	36
4.4 Langdurig tijdelijk tussen-depot	37
5. Bespreking van de resultaten en conclusies	41
6. Literatuuroverzicht	43
Bijlage 1 Berekende concentraties kwarts op vier afstanden.	45
Bijlage 2. De resultaten van de beoordelingen per blootstellingsscenario.	48
Bijlage 3 Werkzaamheden representatief voor werkzaamheden in een tijdelijk tussen depot.	54
Bijlage 4 Resultaten van de blootstellingsbepalingen voor reguliere werkzaamheden in een langdurig tussendepot.	56
Blootstelling beoordeeld per dag.	56
Blootstelling beoordeeld per jaargemiddelde blootstelling.	56
Bijlage 5 Resultaten van de blootstellingsbepalingen voor veeg werkzaamheden in een langdurig tussendepot.	59
Blootstelling beoordeeld per dag.	59
Blootstelling beoordeeld per jaargemiddelde blootstelling.	59

## 1. Inleiding

In dit hoofdstuk worden de aanleiding van het project, de vraagstellingen, de uitvoering en de opzet van het voorliggende rapport beschreven.

### 1.1 Aanleiding tot het onderzoek en opzet van project

In april 2021 had het programma Zembla een uitzending over de blootstelling van werknemers aan stof afkomstig van kwarts houdende ballast. Naar aanleiding van die uitzending is er ook gesuggereerd dat er mogelijk gezondheidsrisico's zijn voor andere potentieel blootgestelde groepen, zoals omwonenden, reizigers en medewerkers van ProRail of andere organisaties die werkzaamheden uitvoeren in de nabijheid van de ballastroerende werkzaamheden.

De relevante vraag wordt daarmee: 'Worden deze groepen blootgesteld tijdens ballastroerende werkzaamheden, zo ja hoe hoog is dan de blootstelling en wat is dan het gezondheidsrisico?'.

ProRail heeft PreventPartner gevraagd hen te ondersteunen bij het beantwoorden van deze vraag.

Al eerder heeft PreventPartner een evaluatie uitgevoerd van de gezondheidsrisico's van blootstelling aan stof van kwarts houdende ballast [1], waarin werd geconcludeerd dat de gezondheidsrisico's van omwonenden verwaarloosbaar waren. De gezondheidsrisico's van reizigers hoefden volgens dat rapport niet verder te worden onderzocht omdat op basis van de voorschriften uit milieuwetgeving de blootstelling als niet relevant kon worden beschouwd. De conclusies in dat rapport waren gebaseerd om een grove risicoanalyse vooral gebaseerd op zeer beperkte frequentie en duur van de blootstelling. Er was echter behoefte aan een meer kwantitatieve onderbouwing van de risicobeoordeling.

In 2023 is een tijdelijk tussendepot ingericht in de gemeente Apeldoorn waarbij anders dan in een in 2021 beoordeeld scenario ballast langduriger is opgeslagen en bewerkt en ook ballast van diverse kwaliteiten. PreventPartner heeft die situatie ook onderzocht en daarvoor 2 rapporten geschreven; een feiten relaas en een risicoanalyse [2,3]. Deze ervaringen zijn input geweest voor een beoordeling van de risico's specifiek voor omwonenden in een vijfde situatie: een tussendepot dat drie maanden operationeel zal zijn.

Dit voorliggende rapport geeft onderbouwd aan wat de gezondheidsrisico's van derden kunnen zijn op basis van een meer uitgebreid literatuuronderzoek, aanvullende blootstellingsonderzoeken en gebruik maken van modellen.

### 1.2 Vraagstelling onderzoek

De hoofdvraagstelling van het onderzoek is:

Zijn er gezondheidsrisico's voor derden door blootstelling aan respirabel kwartsstof in verband met ballastroerende werkzaamheden bij onderhoud en vernieuwing van spoortrajecten?

Om die vraag te kunnen beantwoorden zijn de volgende deelvragen gesteld

1. In welke situaties kunnen derden worden blootgesteld aan respirabel kwartstof uit ballast?
2. Welke groepen blootgestelden kunnen worden onderscheiden in die situaties?
3. Hoe hoog kan die blootstelling zijn?
4. Welke gezondheidsrisico's kunnen voor derden samenhangen met de blootstelling aan respirabel kwarts?
5. In verband met de ontwikkeling dat ProRail voor verse ballast gebruik maakt van kwartsloze ballast, is ook de blootstelling aan fijnstof (PM<sub>10</sub> en PM<sub>2.5</sub>) meegenomen in de situatie van een langdurig depot.

Blootstelling aan respirabel stof en respirabel kwarts voor medewerkers die betrokken zijn bij de ballastroerende werkzaamheden vallen buiten de kaders van deze vraagstelling. Voor die groep wordt verwezen naar het onderzoek dat is uitgevoerd door TNO [7].

### 1.3 Opzet onderzoek

Om een antwoord te geven op de vraagstellingen zijn in werksessies met sleutelinformanten de blootstelling scenario's in kaart gebracht:

- Bij welke ballastroerende werkzaamheden kunnen derden worden blootgesteld aan respirabel stof?
- Welke groepen derden kunnen worden onderscheiden als het gaat om blootstelling aan respirabel (kwarts)stof?
- Hoe kunnen deze groepen derden worden blootgesteld?
- Per situatie zijn vervolgens blootstelling-scenario's ontwikkeld (afstand tot de werkzaamheden, frequentie en duur van blootstelling).

In de wetenschappelijke en grijze literatuur is gezocht naar informatie die gebruikt kan worden om de hoogte van de blootstelling van derden te bepalen. Daarbij is met name gebruik gemaakt van die bronnen waar kwantitatieve informatie over blootstelling aan respirabel stof en respirabel kwarts in vermeld staat tijdens ballastroerende werkzaamheden.

ProRail heeft TNO onderzoek laten doen naar de blootstelling aan respirabel kwartstof bij ballastroerende werkzaamheden [5,6,7]. In dit onderzoek zijn metingen gedaan naar blootstelling aan stof en kwarts. In de risicoschattingen van situatie 1 t/m 4 is gebruik gemaakt van deze informatie [6].

Daar waar geen directe informatie beschikbaar was op basis van metingen is modelmatig een inschatting gemaakt van de concentratie respirabel kwartstof waar een blootgestelde groep in een bepaalde situatie maximaal aan kon worden blootgesteld (worst-case schatting van de blootstelling).

Voor situatie 5 is een selectie gemaakt van werkzaamheden representatief voor een langdurig depot [7]. Daarbij is naast de concentratie kwartsstof ook een beoordeling gegeven aan de blootstelling aan fijnstof en is deze vergeleken met de Nederlandse milieunormen voor PM<sub>10</sub> en PM<sub>2.5</sub>.

## 1.4 Indeling rapport

Hoofdstuk 1 beschrijft de opzet, methodiek en uitvoering van het project. In hoofdstuk 2 wordt vervolgens een overzicht gegeven van de blootstellingsscenario's die kunnen plaatsvinden tijdens en na afloop van de ballastroerende werkzaamheden. In hoofdstuk 3 wordt de literatuur behandeld over gezondheidsrisico's van kwarts in niet beroepsmatige blootstellingssituaties. In dit hoofdstuk wordt ook kort ingegaan op de beschikbare literatuur over gezondheidsrisico's van blootstelling aan (woestijn)zand. Hoofdstuk 4 geeft de resultaten van de inschatting van de blootstelling en gezondheidsrisico's voor de verschillende scenario's en groepen blootgestelden. Afgesloten wordt in hoofdstuk 5 met conclusies en adviezen voor mogelijk verder onderzoek indien een verdere onderbouwing van dit advies wenselijk is.

## 2. Blootstellingsscenario's

In dit hoofdstuk worden de verschillende blootstellingsscenario's beschreven waarvoor een risico-evaluatie heeft plaats gevonden.

### 2.1 Aanpak

In een werkbijeenkomst zijn met sleutelinformanten de verschillende situaties geïnventariseerd waar derden kunnen worden blootgesteld aan (kwarts)stof tijdens of na afloop van de ballastroerende werkzaamheden. Vervolgens zijn per blootstellingssituatie de mogelijk blootgestelde groepen gedefinieerd en is vastgesteld hoe deze groepen kunnen worden blootgesteld: wat de minimale afstand is tot de bron, hoe vaak deze blootstelling kan optreden en hoe lang deze blootstelling maximaal zou kunnen duren.

Deze informatie is samengevat in een blootstellingsmatrix die aan betrokkenen is voorgelegd. Dit heeft geleid tot enkele aanvullingen op de blootstellingsscenario's. De definitieve blootstellingsscenario's worden hier gepresenteerd.

### 2.2 Blootstellingssituaties

Er zijn vijf type werkzaamheden onderscheiden:

1. Ballast roerende werkzaamheden in een tunnel:

- a. Vervangen ballast
- b. Vervangen spoorstaven

Vervangen ballast veroorzaakt meer stof dan vervangen spoorstaven.

Een station in een tunnel kan gedurende de werkzaamheden ook enige tijd geheel of gedeeltelijk buiten gebruik worden gesteld.

2. Ballast roerende werkzaamheden op een station nabij perrons:

- a. Vervangen ballast
- b. Vervangen spoorstaven

Kan zowel een station in een tunnel zijn als in een kunstwerk.

Een station kan gedurende de werkzaamheden ook enige tijd geheel of gedeeltelijk buiten gebruik worden gesteld en sommige kleinere stations gaan gedurende de werkzaamheden helemaal dicht.

3. Ballast roerende werkzaamheden buiten stations:

- a. Vervangen ballast
- b. Vervangen spoorstaven

Er kunnen in sommige situaties aanvullende maatregelen gelden, bijvoorbeeld eis van dichte gevels bij gebouwen die dicht op het spoor staan.

4. Tijdelijke depot van ballast als werkvoorraad voor werkzaamheden zoals genoemd bij 1-3:

- a. Storten voorraad ballast op een berg in nabijheid werkzaamheden.
- b. Transport ballast van werkvoorraad naar spoor.

5. Tijdelijk tussendepot van ballast waar de in het tracé gebruikte ballast wordt opgeslagen voordat het definitief wordt afgevoerd en verse ballast (kwartshoudend en kwartsloos) voordat deze in het tracé kan worden aangebracht. Belangrijkste werkzaamheden:

- a. Storten ballast vanuit vrachtwagens of vanuit wagons.
- b. Laden van ballast naar vrachtwagens of wagons.
- c. Verplaatsen van hopen ballast op het depot i.v.m. herschikken ruimten.
- d. Vegen (met borstelwagen) van rijplaten i.v.m. vervuiling.

## 2.3 Blootgestelde groepen

Voor blootgestelde groepen geldt dat ze afhankelijk van de blootstellingssituatie op verschillende manieren kunnen worden blootgesteld (hoogte van blootstelling, frequentie en duur van blootstelling) en op verschillende afstand van de bron. In overleg met de sleutelinformanten is dit per groep en per scenario vastgesteld. De hoogte van de mogelijke blootstelling komt uit metingen of modellen (zie paragraaf 2.5 en verder).

De volgende groepen blootgesteld zijn onderscheiden:

- Groepen die tijdens de uitoefening van hun werk blootgesteld kunnen worden. Blootstelling aan (kwarts)stof is voor deze groepen dus beroepsgebonden:
  - Treinmachinisten en - conducteurs.
  - Personeel aanwezig op perrons; storingsmonteurs, perronmedewerkers, servicemedewerkers, station managers, station logistiek, procesleiders, kioskmedewerkers (op perron), schoonmakers, crowd control, veiligheid & security personeel, politie/brandweer/ambulance, externen werkzaam op het perron (bijv. aannemers).
  - Inspecteurs en bouwmanagers van ProRail.
  - Schoonmakers, schilders, onderhoudsmedewerkers en aannemers tijdens specifieke werkzaamheden.
- Groepen die zich om andere redenen in de nabijheid van deze werkzaamheden kunnen bevinden en blootstelling dus niet-beroepsgebonden is:
  - Reizigers.
  - Winkeland publiek (onder deze groep worden ook winkelpersoneel op stations en medewerkers fietsenstallingen gerekend).
  - Omwonenden.
  - Omstanders/toeschouwers.
- Voor de situatie van het tijdelijk tussendepot is de niet beroepsmatig blootgestelde groep:
  - Omwonenden.

## 2.4 Blootstellingsmatrices

Voor elk van de eerste vier type werkzaamheden en de blootgestelde groepen is een matrix met blootstellingsscenario's opgesteld. In de volgende paragrafen zijn deze opgenomen. De scenario's in blauwe tekst betreft niet-beroepsgebonden blootstelling, de scenario's in zwarte tekst betreft beroepsgebonden blootstelling'. In de laatste twee kolommen van elk scenario is de opgehaalde informatie door ons vertaald in

maximaal aantal uren blootstelling per dag en maximaal aantal uren blootstelling per jaar.

Voor het tijdelijk tussendepot is een iets andere benadering gekozen gebaseerd op de risicoanalyse voor het depot in Apeldoorn [3]. Die benadering is opgenomen in § 2.4.5.



## 2.4.1 Situatie 1. Ballastroerende werkzaamheden in een tunnel

Tabel 3. Blootstellingsscenario's bij ballastroerende werkzaamheden in een tunnel.

Type werkzaamheden	Hoe kan blootstelling aan kwartshoudend stof plaatsvinden?	Welke groepen kunnen worden blootgesteld?	Op welke afstand van de werkzaamheden?	Hoe lang kan de blootstelling duren?	Hoe vaak komt deze blootstelling voor?	Maximale blootstelling per dag (uren) worst-case	Maximale blootstelling per jaar (uren)
<p>1. Ballast roerende werkzaamheden in een tunnel:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vervangen ballast</li> <li>- Vervangen spoorstaven</li> </ul> <p>(vervangen ballast veroorzaakt meer stof dan vervangen spoorstaven)</p> <p>[Station in een tunnel kan gedurende de werkzaamheden ook enige tijd geheel of gedeeltelijk buiten gebruik worden gesteld]</p>	<p>1a. Werknemers die de werkzaamheden uitvoeren</p> <p>1b. Werknemers in de omgeving ten tijde van de werkzaamheden</p>	Onderzoek door TNO					
	1c. Door transport van stof uit de tunnel naar een station/peron in die tunnel tijdens de werkzaamheden	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reizigers</li> <li>- Treinmachinisten</li> <li>- Treinconducteurs</li> </ul>	Meestal op grote afstand tot de werkzaamheden (afstand tot de tunnelbuis)	Korte momenten: 5 – 60 minuten per dag	tot ca. 3 dagen per jaar	1	3
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Al het personeel dat aanwezig kan zijn op perrons van een station, waaronder (niet-limitatief):</li> <li>- Storingsmonteurs</li> <li>- Perronmedewerkers</li> <li>- Servicemedewerkers</li> <li>- Stationsmanagers</li> <li>- Stationslogistiek</li> <li>- Procesleiders</li> <li>- Kiokmedewerkers (op perron)</li> <li>- Schoonmakers</li> <li>- Crowd control</li> <li>- Veiligheid &amp; security personeel</li> <li>- Politie/brandweer/ambulance</li> <li>- Extern werkzaam op het perron (bijv. aannemers)</li> </ul>	Meestal op grote afstand tot de werkzaamheden (afstand tot de tunnelbuis)	Variëert per groep maar maximaal 8 uur per dag op station aanwezig	tot ca. 3 dagen per jaar	8	24
	1d. Door transport van stof naar aanpalende ruimten van zo'n station tijdens de werkzaamheden (bijv. stationsgebouw, Schiphol Plaza)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reizigers</li> <li>- Treinmachinisten</li> <li>- Treinconducteurs</li> <li>- Winkelpersoneel (retail)</li> <li>- Medewerkers fietsenstallingen</li> </ul>	<p>Op grote afstand tot de werkzaamheden</p> <p>Op grote afstand tot de werkzaamheden</p>	<p>Korte momenten: 5 – 60 minuten per dag</p> <p>Tot 8 uur per dag</p>	<p>tot ca. 3 dagen per jaar</p> <p>Tot ca. 3 dagen per jaar</p>	<p>1</p> <p>8</p>	<p>3</p> <p>24</p>
	1e. Door aanwezigheid van stof in de lucht direct na afloop van de werkzaamheden (hoe lang blijft het stof nog in de lucht hangen na afloop van de werkzaamheden)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reizigers</li> <li>- Treinmachinisten</li> <li>- Treinconducteurs</li> <li>- Alle groepen zoals genoemd bij 1c</li> <li>- Inspecteurs</li> <li>- Bouwmanagers</li> </ul>	<p>Op het gehele station; afstand tot de bron op dat moment niet meer relevant</p> <p>Op het gehele station; afstand tot de bron op dat moment niet meer relevant</p>	<p>Korte momenten: 5 – 60 minuten per dag</p> <p>Variëert per groep maar maximaal 8 uur per dag</p>	<p>Relevant tot ca. 1 dag na afloop werkzaamheden</p> <p>Relevant tot ca. 1 dag na afloop werkzaamheden</p>	<p>1</p> <p>8</p>	<p>1</p> <p>8</p>
	1f. Door treimbewegingen over het nieuwe spoor nadat ballast weer droog is of door opnieuw opwarrelen van stof door luchtbewegingen (m.n. wind)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reizigers</li> <li>- Treinmachinisten</li> <li>- Treinconducteurs</li> <li>- Al het personeel dat aanwezig kan zijn op perrons van een station. Zie 1c voor een niet-limitatieve lijst</li> </ul>	<p>Kortst mogelijke afstand enkele meters</p> <p>Kortst mogelijke afstand enkele meters</p>	<p>Korte momenten: 5 – 60 minuten per dag</p> <p>Variëert per groep maar maximaal 8 uur per dag op station aanwezig</p>	<p>Relevant tot enkele weken na afloop werkzaamheden?</p> <p>Relevant tot enkele weken na afloop werkzaamheden?</p>	<p>1</p> <p>8</p>	<p>20</p> <p>160</p>
	1g. Door contact met stof dat zich heeft afgezet op verschillende oppervlakken op zo'n station	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Schoonmakers</li> <li>- Schilders</li> <li>- Onderhoudsmedewerkers</li> <li>- Aannemers tijdens specifieke werkzaamheden</li> </ul>	Stof die wordt opgedwarfeld als gevolg van de eigen werkzaamheden	Variëert per activiteit	Relevant tot enkele weken na afloop werkzaamheden?	8	32

## 2.4.2 Situatie 2. Ballastroerende werkzaamheden op een station

Tabel 4. Blootstellingsscenario's bij ballastroerende werkzaamheden op een station.

Type werkzaamheden	Hoe kan blootstelling aan kwartshoudend stof plaatsvinden?	Welke groepen kunnen worden blootgesteld?	Op welke afstand van de werkzaamheden?	Hoe lang kan de blootstelling duren?	Hoe vaak komt deze blootstelling voor?	Maximale blootstelling per dag (uren) worst-case	maximale blootstelling per jaar (uren) worst-case
2. Ballast roerende werkzaamheden op een station nabij perrons: - Vervangen ballast - Vervangen spoorstaven [Kan zowel een station in een tunnel zijn als in een kunstwerk] [Station kan gedurende de werkzaamheden ook enige tijd geheel of gedeeltelijk buiten gebruik worden gesteld en sommige kleinere stations gaan gedurende de werkzaamheden helemaal dicht]	2a. Werknemers die de werkzaamheden uitvoeren 2b. Werknemers in de omgeving ten tijde van de werkzaamheden	Onderzoek door TNO					
	2c. Personen aanwezig op het perron tijdens de werkzaamheden	- Reizigers - Treinmachinisten - Treinconducteurs - Al het personeel dat aanwezig kan zijn op perrons van een station. Zie 1c voor een niet-limitatieve lijst	Kortst mogelijke afstand tot de werkzaamheden 3,5 meter Kortst mogelijke afstand tot de werkzaamheden 3,5 meter	Korte momenten: 5-60 minuten per dag Varieert per groep maar maximaal 8 uur per dag op station aanwezig	Tot ca. 3 dagen per jaar (gedurende enkele uren op deze dagen worden daadwerkelijk ballastroerende werkzaamheden verricht) Tot ca. 3 dagen per jaar (gedurende enkele uren op deze dagen worden daadwerkelijk ballastroerende werkzaamheden verricht)	1 8	3 24
	2d. Door transport van stof naar aanpalende ruimten van zo'n station tijdens de werkzaamheden (bijv. stationsgebouw, fietsenstalling)	- Reizigers - Treinmachinisten - Treinconducteurs - Winkelpersoneel (retail) - Medewerkers fietsenstallingen	Meestal enkele tientallen meters Meestal enkele tientallen meters	Korte momenten: 5-60 minuten per dag Tot 8 uur per dag	Tot ca. 3 dagen per jaar (gedurende enkele uren op deze dagen worden daadwerkelijk ballastroerende werkzaamheden verricht) Tot ca. 3 dagen per jaar (gedurende enkele uren op deze dagen wordt er daadwerkelijk ballastroerende werkzaamheden verricht)	1 8	3 24
	2e. Door aanwezigheid van stof in de lucht direct na afloop van de werkzaamheden (hoe lang blijft het stof nog in de lucht hangen na afloop van de werkzaamheden)	- Reizigers - Treinmachinisten - Treinconducteurs - Alle groepen zoals genoemd bij 1c - Inspecteurs - Bouwmanagers	Op het gehele station; afstand tot de bron op dat moment niet meer relevant Op het gehele station; afstand tot de bron op dat moment niet meer relevant	Korte momenten: 5-60 minuten per dag Varieert per groep maar maximaal 8 uur per dag op station aanwezig	Relevant tot ca. 1 dag na afloop werkzaamheden Relevant tot ca. 1 dag na afloop werkzaamheden	1 8	1 8
	2f. Door treinbewegingen over het nieuwe spoor nadat ballast weer droog is of door opnieuw opwarren van stof door luchtbewegingen (m.n. wind)	- Reizigers - Treinmachinisten - Treinconducteurs - Alle overige groepen zoals genoemd bij 1c	Kortst mogelijke afstand enkele meters Kortst mogelijke afstand enkele meters	Korte momenten: 5-60 minuten per dag Varieert per groep maar maximaal 8 uur per dag op station aanwezig	Relevant tot enkele weken na afloop werkzaamheden? Relevant tot enkele weken na afloop werkzaamheden?	1 8	20 160
	2g. Door contact met stof dat zich heeft afgezet op verschillende oppervlakken op zo'n station	- Schoonmakers - Schilders - Onderhoudsmedewerkers - Aannemers tijdens specifieke werkzaamheden	Stof die wordt opgedwaaid als gevolg van de eigen werkzaamheden	Varieert per activiteit	Relevant tot enkele weken na afloop werkzaamheden?	8	32

## 2.4.3 Situatie 3. Ballastroerende werkzaamheden buiten stations

Tabel 5. Blootstellingsscenario's bij ballastroerende werkzaamheden buiten stations.

Type werkzaamheden	Hoe kan blootstelling aan kwartshoudend stof plaatsvinden?	Welke groepen kunnen worden blootgesteld?	Op welke afstand van de werkzaamheden?	Hoe lang kan de blootstelling duren?	Hoe vaak komt deze blootstelling voor?	Maximale blootstelling per dag (uren) worst-case	maximale blootstelling per jaar (uren) worst-case
3. Ballast roerende werkzaamheden buiten stations: - Vervangen ballast - Vervangen spoorstaven  [Er kunnen aanvullende maatregelen gelden, bijvoorbeeld eis van dichte gevels bij gebouwen die dicht op het spoor staan]	3a. Werknemers die de werkzaamheden uitvoeren	Onderzoek door TNO					
	3b. Werknemers in de omgeving ten tijde van de werkzaamheden						
	3c. Omwonenden rondom het werkgebied tijdens de werkzaamheden	- Omwonenden	Normaliter kortst mogelijke afstand ca. 10 meter; in uitzonderingsgevallen korter op het spoor	Maximaal ca. 3 dagen blootstelling in de directe nabijheid van elke woning gedurende maximaal ca. 12 uur per dag daadwerkelijk ballastroerende werkzaamheden	Maximaal eens per 5-10 jaar werkzaamheden met ballast in de directe nabijheid van een woning		36
	3d. Omstanders tijdens de werkzaamheden buiten het werkgebied anders dan omwonenden	- Toeschouwers werkzaamheden	Normaliter kortst mogelijke afstand ca. 10 meter; in uitzonderingsgevallen korter op het spoor	Alleen kort en incidenteel	In principe eenmalig		1
	3e. Door aanwezigheid van stof in de lucht direct na afloop van de werkzaamheden (hoe lang blijft het stof nog in de lucht hangen na afloop van de werkzaamheden)	- Omwonenden	Normaliter kortst mogelijke afstand ca. 10 meter; in uitzonderingsgevallen korter op het spoor	De werkdagen zelf (na afloop van de werkzaamheden) plus ca. 1-2 dagen daarna.	Relevant tot ca. 1 dag na afloop werkzaamheden		48
	3f. Door treinbewegingen over het nieuwe spoor nadat ballast weer droog is of door opnieuw opwarrelen van stof door luchtbewegingen (m.n. wind)	- Omwonenden	Normaliter kortst mogelijke afstand ca. 10 meter; in uitzonderingsgevallen korter op het spoor	Afhankelijk van het aantal treinpassages	Relevant tot enkele weken na afloop werkzaamheden?		672
	3g. Door contact met stof dat zich heeft afgezet op verschillende oppervlakken in de nabijheid van het nieuwe spoor	- Omwonenden	Gaat om stof dat in de directe omgeving van het huis is neergedwarfeld	In principe korte momenten afhankelijk van de activiteit	Relevant tot enkele weken na afloop werkzaamheden?		672

## 2.4.4 Situatie 4. Tijdelijk depot

Tabel 6. Blootstellingsscenario's bij ballastroerende werkzaamheden bij tijdelijk depot.

Type werkzaamheden	Hoe kan blootstelling aan kwartshoudend stof plaatsvinden?	Welke groepen kunnen worden blootgesteld?	Op welke afstand van de werkzaamheden?	Hoe lang kan de blootstelling duren?	Hoe vaak komt deze blootstelling voor?	Maximale blootstelling per dag (uren) worst-case	maximale blootstelling per jaar (uren) worst-case
4. Tijdelijk depot van ballast als werkvoorraad voor werkzaamheden zoals genoemd bij 1-3: - Storten voorraad ballast op een berg in nabijheid werkzaamheden - Transport ballast van werkvoorraad naar spoor	4a. Werknemers die de werkzaamheden uitvoeren	Onderzoek door TNO					
	4b. Werknemers in de omgeving ten tijde van de werkzaamheden						
	4c. Omwonenden rondom het werkgebied tijdens de werkzaamheden	- Omwonenden	Normaliter kortst mogelijke afstand ca. 10 meter; in uitzonderingsgevallen korter op het spoor	Enkele korte momenten op een dag gedurende de werkzaamheden	Maximaal eens per 5-10 jaar werkzaamheden met ballast in de directe nabijheid van een woning		12
	4d. Omstanders tijdens de werkzaamheden buiten het werkgebied anders dan omwonenden	- Toeschouwers werkzaamheden	Normaliter kortst mogelijke afstand ca. 10 meter; in uitzonderingsgevallen	Alleen kort en incidenteel	In principe eenmalig		1
	4e. Door aanwezigheid van stof in de lucht direct na afloop van de werkzaamheden (hoe lang blijft het stof nog in de lucht hangen na afloop van de werkzaamheden)	- Omwonenden	Normaliter kortst mogelijke afstand ca. 10 meter; in uitzonderingsgevallen korter op het spoor	De werkdagen zelf (na afloop van de werkzaamheden) plus ca. 1-2 dagen daarna.	Relevant tot ca. 1 dag na afloop werkzaamheden		48
	4f. Door contact met stof dat zich heeft afgezet op verschillende oppervlakken in de nabijheid van het nieuwe spoor	- Omwonenden	Gaat om stof dat in de directe omgeving van het huis is neergedwarfeld	In principe korte momenten afhankelijk van de activiteit	Relevant tot enkele weken na afloop werkzaamheden?		672
	4g Door transport van stof naar aanpalende percelen zoals perrons, reizigerstunnels etc. (E.e.a afhankelijk van de afstand van het depot tot de betreffende stationslocaties	- Reizigers - NS personeel algemeen	Op grote afstand tot de werkzaamheden	Korte momenten: 5 – 60 minuten per dag			3

#### 2.4.5 Situatie 5. Tijdelijk tussen depot

Deze blootstellingssituatie is gebaseerd op de risicoanalyse die is gemaakt voor een tijdelijk depot in een woonwijk in de gemeente Apeldoorn [3]. De mogelijke duur van de blootstellingen voor omwonenden is veel langer dan voor het depot dat in § 2.4.4 is beschreven.

Als uitgangspunten voor deze analyse zijn de onderstaande punten gebruikt:

1. Depot ingericht en in gebruik voor maximaal 3 maanden (90 dagen).
2. Depot voor zowel verse ballast afkomstig uit groeves als voor gebruikt ballast afkomstig vanuit een bestaand tracé.
3. Zowel kwarts loze ballast (vers) als kwart bevattende ballast (vers of afkomstig van bestaand tracé). In de toekomst zal het aandeel kwartsloze ballast op dergelijke depots toenemen, conform beleid van ProRail.
4. Tijdens de duur van het gebruik van het depot zijn er periodiek werkzaamheden (niet continue).
5. Twee benaderingen voor de emissie (zie bijlage 3):
  - a. Voor het reguliere werk zijn de waarden van blootstellingsmetingen gebruikt uit het TNO-onderzoek die passen bij de werkzaamheden op een depot.
  - b. Voor het gebruik van een borstelwagen zijn de waarden van de blootstellingsmetingen gebruikt uit het TNO-onderzoek van een profileermachine met borstel.
6. Omdat de werkzaamheden uit punt 5 zowel met droge (veel stofvorming) als natte (stofbeperking) ballast zijn uitgevoerd wordt daar in de berekeningen van de blootstelling verder geen rekening meer mee gehouden en wordt standaard uitgegaan van droge ballast.
7. De blootstelling voor derden (in casu de omwonenden) van de concentraties PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> en respirabel kwarts is berekend voor afstanden tot het depot van 10, 25, 50 en 100 meter. De waarden voor blootstelling van passanten is terug te vinden in §2.4.4 en is voor deze situatie niet anders.
8. Na reguliere werkzaamheden wordt conform de hiervoor gebruikte parameters 48 uur mogelijke expositie verondersteld.
9. De jaargemiddelde norm is berekend voor verschillende duur van blootstelling namelijk 2, 10, 25 en 90 dagen. In Apeldoorn bleek de blootstelling voor die specifieke situatie 26 dagen te zijn geweest (rekening houdend met windrichting).
10. Als gemiddelde windsnelheid wordt 4,5 m/seconde aangehouden zoals ook in de andere 4 situaties is gebruikt (was ten tijde van het depot in Apeldoorn gemiddeld 3,7 m/s). Een hogere windsnelheid zorgt ook voor een hogere blootstelling aan

stofdeeltjes en de default aanname van 4,5 m/s wordt daarom als worst-case gehanteerd.

11. De blootstelling van omwonenden wordt vergeleken met zowel de Nederlandse Milieunormen als de advieswaarden van de WHO.

## 2.5 Meetgegevens

In de onderstaande tabel zijn de gegevens opgenomen zoals vermeld in beide TNO-rapporten. Ten behoeve van dit rapport is gebruik gemaakt van twee type metingen. Enerzijds de metingen in de stofwolk nabij het emissiepunt die de sterkte van de bron weergeven die relevant is voor derden. Anderzijds de metingen die zijn gedaan op enige afstand van de werkzaamheden.

In de tabel is de volgende informatie opgenomen: de aard van bewerking die de emissie van (kwarts)stof veroorzaakt, de organisatie die de metingen heeft uitgevoerd, het jaar waarin de metingen zijn uitgevoerd en de concentraties respirabel stof en respirabel kwarts. Indien zowel respirabel stof als respirabel kwarts is gemeten is het % kwarts in dat monster berekend uit deze twee gegevens.

In de laatste kolom is een schatting gemaakt van de concentratie respirabel kwarts voor die metingen van respirabel stof waarin geen kwartsanalyses zijn uitgevoerd. Daarbij is het percentage kwarts gesteld op 20% van de concentratie respirabel stof. Uit de TNO-onderzoeken (zowel experimenteel als veldonderzoek) blijkt op basis van minimaal 16 metingen dat het percentage kwarts in respirabel stof varieert van 1,5 % tot 18,8 % (een deel van de gegevens betreft rekenkundige gemiddelden van meerdere metingen). In onze benadering zijn we uitgegaan van een worst-case aanname en is de concentratie kwarts bij deze metingen berekend door ervan uit te gaan dat maximaal 20% van het respirabel stof bestaat uit respirabel kwarts. In werkelijkheid ligt dit percentage in de meeste gevallen een stuk lager. Deze aanname komt overeen met de percentages die in de literatuur over blootstellingen in het milieu aan respirabel kwarts worden gevonden [13].

Tabel 7 geeft de resultaten weer van de metingen in de stofwolk bij een bepaalde bewerking van ballast en geeft dus in feite de concentraties weer in (de directe nabijheid van) de bron. Deze informatie is gebruikt voor het berekenen van de concentratie respirabel kwarts op verschillende afstanden van de bron (zie paragraaf 2.6). Waar mogelijk is gebruik gemaakt van de directe meetgegevens bij een bewerking (informatie uit de kolom 'respirabel kwarts'). Als die niet beschikbaar was is de geschatte kwartsconcentratie gebruikt (informatie uit de laatste kolom).

Tabel 7. Gebruikte meetresultaten voor de modelberekeningen van de concentratie respirabel kwarts op verschillende afstanden tot de bron.

Bewerking	Uitvoerende meting	Jaar	respirabel stof (mg/m <sup>3</sup> )	respirabel kwarts (mg/m <sup>3</sup> )	% kwarts in respirabel stof	Geschatte concentratie respirabel kwarts (mg/m <sup>3</sup> )
Kettinghor	Buro Blauw	2010	2,63	0,801	30,5%	
Nalossen/kettinghor	TNO	1998		0,064		
Nalossen/kettinghor	TNO	1998		0,674		
Nalossen/spoorvernieuwing	TNO	1998		0,199		
SALT (zonder)	TNO	2008	4,7	0,24	5,1%	
SALT (met)	TNO	2008	0,8	0,041	5,1%	
SALT (zonder)	TNO	2021	3,3			0,66
SALT (zonder)	TNO	2021	4,1			0,82
SALT (met)	TNO	2021	0,4			0,08
SALT (met)	TNO	2021	1,5	0,022	1,5%	
SALT (met)	TNO	2021	0,9	0,068	7,6%	
SALT (met)	TNO	2021	1,7			0,34
Stopmachine	TNO	2021	5,8	0,55	9,5%	
Profileermachine	TNO	2021	9,1	0,8	8,8%	
Profileermachine	TNO	2021	6,1			1,22
Eerste treinpassage	TNO	2021	0,1	0,011	11,0%	
Ontgraven + lossen	TNO	2021	0,07			0,014
Ontgraven + lossen	TNO	2021	0,1	0,0074	7,4%	
Lossen, spreiden en nivelleren	TNO	2021	0,08			0,016
Lossen, spreiden en nivelleren	TNO	2021	0,14			0,028
Beladen vrachtwagens (oude ballast)	TNO	2021	0,09	0,0067	7,4%	
Lossen vrachtwagens/belading krol	TNO	2021	0,03			0,006
Lossen vrachtwagens/belading krol	TNO	2021	0,08			0,016
Spreiden en nivelleren	TNO	2021	0,1	<0,01		0,02
Lossen FACCS	TNO	2021	1,7	<0,04		0,34
Lossen FACCS	TNO	2021	0,53			0,106

Bewerking	Uitvoerende meting	Jaar	respirabel stof (mg/m <sup>3</sup> )	respirabel kwarts (mg/m <sup>3</sup> )	% kwarts in respirabel stof	Geschatte concentratie respirabel kwarts (mg/m <sup>3</sup> )
Lossen FACCS	TNO	2021	1,7	0,162	9,5%	0,34
Kettinghor met sproeisysteem	TNO	2021	0,51	0,096	18,8%	0,102
Kettinghor met sproeisysteem	TNO	2021	0,49			0,098
Kettinghor met sproeisysteem	TNO	2021	1,1			0,22
Kettinghor zonder sproeisysteem	TNO	2021	0,16			0,032
Kettinghor zonder sproeisysteem	TNO	2021	0,25			0,05
Kettinghor zonder sproeisysteem	TNO	2021	0,53			0,106
Stopmachine	TNO	2021	12			2,4
Stopmachine	TNO	2021	5,2			1,04
Trilplaat	TNO	2021	0,41			0,082
Lossen vrachtwagen depot Tiel	TNO	2020	0,12	0,0055	4,6%	
Beladen ballastwagons	TNO	2020	0,17	0,012	7,1%	
Storten ballast in spoor	TNO	2020	0,26	0,01	3,8%	
Stopmachine	TNO	2020	6,8	0,97	14,3%	
Profileermachine	TNO	2020	24	3,2	13,3%	

TNO heeft ook enkele metingen uitgevoerd naar de concentratie respirabel stof op 5 meter afstand van de bron om een indruk te krijgen van de blootstelling op die afstand. De resultaten zijn samengevat in de onderstaande Tabel 8. Ook hier is de concentratie kwarts berekend uitgaande van de worst-case aanname van 20% kwarts in respirabel stof.



Tabel 8. Metingen van de concentratie respirabel stof op vijf meter afstand tot de bron. Deze resultaten zijn omgezet in geschatte waarden voor de concentratie respirabel kwarts.

Bewerking	Uitvoerende meting	Afstand (m)	Jaar	respirabel stof (mg/m <sup>3</sup> )	Geschatte concentratie respirabel kwarts (mg/m <sup>3</sup> )
Lossen FACCS	TNO	5	2021	0,07	0,014
Lossen SALT	TNO	5	2021	0,07	0,014
Stopmachine	TNO	5	2021	0,07	0,014
Nalossen/ spoorvernieuwing	TNO	5	2021	0,05	0,009

Op basis van deze metingen zou de concentratie respirabel kwartstof op 5 meter van deze werkzaamheden gemiddeld 0,013 mg/m<sup>3</sup> (13 µg/m<sup>3</sup>) bedragen.

## 2.6 Modelberekeningen

In de Regeling beoordeling luchtkwaliteit (Rbl) zijn regels vastgelegd over de modellen voor luchtkwaliteitsberekeningen onder andere voor puntbron zoals een schoorsteen of oppervlaktebron [11].

Het voorgeschreven model is de standaardrekenmethode 3 en is gebaseerd op het Nieuw Nationaal Model voor vergunningsplichtige inrichtingen. Dit model is echter bedoeld om de concentraties op kilometer afstand te berekenen en is daarom niet bruikbaar om de blootstelling op relatief korte afstand van een bron (5 – 100 meter) met voldoende nauwkeurigheid te schatten.

In de Nederlandse technische afspraak over industriële fijnstof emissies [9] is gedefinieerd dat totaal stof: Deeltjes zijn van elke vorm, dichtheid of structuur, die onder de omstandigheden ter plaatse van het monsternemingspunt zwevend in de gasfase voorkomen. De kwantitatieve gegevens uit de beide TNO-rapporten zijn vertaald naar concentraties respirabel kwartsstof met behulp van het rekenmodel voor dispersie van pluimen [8] dat is geïncorporeerd in het spreadsheet IHMOD\_2\_0.xlsx. Dit model is afkomstig van de American Industrial Hygiene Association en bruikbaar voor het inschatten van concentraties op relatief kleine afstanden van de bron.

De concentratie berekeningen zijn gemaakt voor een gemiddelde windsterkte van 4,5 meter/sec. Dit is de langjarig gemiddelde windsnelheid van 15 meetstations verspreid over heel Nederland over het tijdvak 1991 - 2020 [10].

Het pluimmodel maakt gebruik van bronsterkten in mg/min om de concentratie op afstanden tussen 1 meter en 100 meter te schatten. De in de pluim gemeten waarden voor respirabel stof van de TNO onderzoeken (zie Tabel 7) zijn gebruikt om die bronsterkten te bepalen. De bronsterkte is per meetresultaat empirisch vastgesteld.

Door de meetwaarde uit de tabel op 1 meter te stellen konden bronsterktes worden vastgesteld waarbij concentraties respirabel kwartsstof worden berekend die in de orde van grote liggen van andere onderzoeken en de (wetenschappelijke) literatuur). Met die keuze komen de modelschattingen voor de concentratie op 5 meter afstand overeen met de metingen die door TNO zijn gedaan op 5 meter afstand van de werkzaamheden (zie ook Tabel 8).

Gebruik makend van rekenmodellen (IHMOD\_2\_0.xlsx; zie hiervoor) is vervolgens voor iedere beschikbare bronmeting de concentratie respirabel kwarts bepaald op 5, 10, 50 en 100 meter afstand. Daarmee komt een reeks van schattingen aan respirabel kwartsstof beschikbaar op verschillende afstanden van de bron, waarbij de bron de ballastroerende werkzaamheden zijn. Deze waarden zijn vervolgens gebruikt als schatting van de blootstelling aan respirabel kwarts voor derden/omstanders (reizigers, omwonenden, personen op perrons, omstanders en personen in een trein). Elke individuele bronmeting uit Tabel 7 is door ons gebruikt om de blootstelling op verschillende afstanden te berekenen. Het resultaat is dus een set van 41 schattingen van blootstelling aan respirabel kwarts op 5, 10, 50 en 100 meter afstand. Die resultaten zijn door ons niet gemiddeld, maar er is steeds gekozen voor de maximale blootstelling (de hoogste geschatte concentratie op een bepaalde afstand voor de totale set van berekeningen). Daarmee wordt de blootstelling dus worst-case geschat, omdat de slechtste situatie als uitgangspunt wordt genomen voor de risicoschattingen.

Voor niet-beroepsmatig blootgestelde groepen is de waarde voor een blootstellingsscenario omgerekend naar een jaargemiddelde concentratie respirabel kwarts om die te kunnen vergelijken met de beschikbare norm voor milieublootstelling. Voor beroepsmatig blootgestelden is steeds uitgegaan van de daggemiddelde concentratie respirabel kwarts (TGG8uur). Deze waarden zijn gebruikt in de toetsing aan de grenswaarden voor die groep.

De resultaten van de modelberekeningen zijn opgenomen in bijlage 1.

## 2.7 Worstcase situaties

Om de risico's van de blootstelling aan respirabel kwartsstof te bepalen moeten de uitgangspunten voor analyses worden vastgesteld. Het belangrijkste uitgangspunt daarbij is geweest dat we de risico's voor de meest ongunstige situatie (worst-case) hebben beoordeeld. De volgende worst-case aannames zijn gebruikt:

1. Tijdens de werkbijeenkomst is benoemd dat de afstand van derden tot de werkzaamheden kan variëren. Als uitgangspunt is echter gebruikt de minimale afstand tot de bron zoals genoemd in de werkbijeenkomsten. Voor omstanders is deze minimale afstand 5 meter en voor omwonenden is deze minimale afstand 10 meter.
2. Ook de frequentie en duur van blootstelling kan sterk variëren. Er is steeds gerekend met de maximale frequentie en duur van de blootstelling. Bijvoorbeeld: als is ingeschat dat de duur van de blootstelling kan variëren van

- 5-60 minuten per dag en de blootstelling tot ca. 3 dagen per jaar kan plaatsvinden dan is gerekend met 3 dagen van 60 minuten.
3. Het kwartgehalte in het stof blijkt op basis van metingen te variëren van 1,5-18,8%. Er is steeds gerekend met een percentage kwarts in het stof van 20%.
  4. De hoogte van de blootstelling verschilt per situatie en werkzaamheden. Er is steeds gekozen voor de hoogst geschatte concentraties op die specifieke afstand tot de bron.
  5. Blootstelling treedt vooral op indien een persoon zich benedenwinds van de activiteit bevindt. In de risicoschattingen wordt er vanuit gegaan dat de blootgestelde personen zich altijd benedenwinds in de luchtstroom bevinden.
  6. De milieu blootstellingen voor omwonenden worden toegerekend naar 1 jaar, terwijl in meerdere situaties de werkzaamheden slechts eens per 5 of 10 jaar plaats vinden.
  7. Voor toekenning van de hoogte van de blootstelling is de hoogst geschatte concentratie voor de hele blootstellingsduur genomen.
  8. De beroepsmatige blootstellingen zijn tijdgewogen bepaald. Voor het bepalen van het risico voor een beroepsmatig blootgestelde groep is de hoogste tijdgewogen blootstelling genomen.

## 2.8 Blootgestelde groepen berekenen

In paragraaf 2.4 worden vier verschillende situaties benoemd waar derden blootgesteld kunnen worden aan kwartsstof als gevolg van de werkzaamheden met kwartshoudende ballast. In sommige gevallen zal een bepaalde groep maar één van deze scenario's doorlopen, bijvoorbeeld winkelpersoneel in een bepaalde stationshal die alleen blootgesteld zullen worden indien de werkzaamheden in dat specifieke station plaatsvinden. Voor anderen is het echter mogelijk dat er meerdere scenario's worden doorlopen en dus de blootstelling van al die scenario's bij elkaar moeten worden opgeteld. Een reiziger kan bijvoorbeeld blootstelling oplopen zowel op een perron op een regulier station als op een station in een tunnel en in elk van deze situaties kan er blootstelling zijn omdat de reiziger dicht bij de werkzaamheden staat, blootgesteld is aan kwartsstof dat zich verplaatst naar aanliggende ruimten zoals een stationshal en blootgesteld wordt doordat een trein passeert op een net nieuw aangelegd stuk spoor. Ook hier is gekozen voor een worst-case benadering door voor deze groepen iedere vorm van blootstelling bij elkaar op te tellen.

De berekening van de blootstelling wordt onderscheid gemaakt tussen beroepsmatig blootgestelden en niet beroepsmatig blootgestelden (zie ook hiervoor).

Voor beroepsmatig blootgestelden wordt steeds uitgegaan van blootstelling over een 8-urige werkdag zodat vergeleken kan worden met de norm voor blootstelling op de werkplek.

Voor niet-beroepsmatig blootgestelden wordt een cumulatieve blootstelling over een geheel jaar berekend zodat vergeleken kan worden met de beschikbare norm voor milieublootstelling. In de onderstaande Tabel 9 wordt weergegeven welke situaties per blootgestelde groep relevant is. In de laatste kolom wordt de berekening van de

blootstelling van de diverse groepen toegelicht. Onder de groep winkelend publiek worden ook winkelpersoneel en medewerkers fietsenstalling gerekend. Voor de blootstellingsduur is voor de hele groep als maximale duur 8 uur/dag aangehouden.

*Tabel 9. Berekening van de blootstelling van blootgestelde groepen (voor de beschrijving van de situaties zie paragrafen 2.4.1 t/m 2.4.5).*

Blootgestelde groep	Situatie 1	Situatie 2	Situatie 3	Situatie 4	Situatie 5	Berekening
<b>Beroepsmatige blootstelling</b>						
Treinmachinsten/ conducteurs	X	X	-	-		Blootstelling berekend naar 8 uur en maximale blootstelling van beide situaties.
Storingsmonteurs/ externe aannemers	X	X	-	-		Blootstelling berekend naar 8 uur en maximale blootstelling van beide situaties.
Perronmedewerkers service medewerkers etc	X	X	-	-		Of 1 of 2. Maximale blootstelling voor 1 situatie
Inspecteurs/ bouwmanagers	X	X	-	-		Blootstelling berekend naar 8 uur en maximale blootstelling van beide situaties.
Groepen secundaire blootstelling	X	X	-	-		Blootstelling berekend naar 8 uur en maximale blootstelling van beide situaties.
<b>Niet beroepsmatige blootstelling / omgevingsblootstelling</b>						
Reizigers	X	X	-	X		Cumulatieve vaststelling jaargemiddelde blootstelling
Winkelend publiek (w.o. ook winkelpersoneel / medewerkers fietsenstalling)	X	X	-	-		Of 1 of 2. Maximale cumulatieve jaargemiddelde blootstelling voor 1 situatie, 8 uur per dag.
Omwonenden	-	-	X	X	X	Cumulatieve vaststelling jaargemiddelde blootstelling
Omstanders	-	-	X	X		Cumulatieve vaststelling jaargemiddelde blootstelling

## 3. Literatuuronderzoek

### 3.1 Literatuur over fijn (kwarts)stof

#### 3.1.1 Gevaren voor de gezondheid

Er zijn in de afgelopen jaren diverse monografieën en criteriadocumenten over respirabel kwarts verschenen.

De publicatie van de IARC [3] stelt vast dat kwarts kankerverwekkend is voor de mens. Ze onderzochten drie mogelijke mechanismen waarvan als meest waarschijnlijk wordt verondersteld een indirecte verandering in het genetisch materiaal door een chronische irritatie/ontsteking van het longweefsel. Ook de recente evaluatie van de Nederlandse DECOS [14] geeft aan dat er mogelijk een drempelwaarde is voor het ontstaan van longkanker.

De WHO [5] en het Amerikaanse Department of Health and Human Services - EPA [15] komen tot de conclusie dat silicose als meest kritische effect moet worden beschouwd waarvoor ook dosis-effect relaties beschikbaar zijn.

De Nordic Expert Group concludeerde in haar criteria document [16] dat er sterk bewijs is voor het verband tussen blootstelling aan ultrafijn kristallijne silica stof (kwarts) en hart- en vaatziekten. Zij veronderstelden het ontstekingsmechanisme als meest waarschijnlijk proces dat daarvoor zorgt.

Ook voor omstanders c.q. derden van de werkzaamheden met kwartshoudende ballast wordt silicose als kritisch effect gezien en wordt longkanker als niet relevant gezondheidseffect beschouwd.

#### 3.1.2 Werkingsmechanisme respirabel kwarts

De belangrijkste gevaren die in de literatuur worden beschreven zijn aandoeningen van het ademhalingsapparaat (silicose en longkanker) en hart- en vaatziekten. Blootstelling door inademen vormt dus een risico. Huidblootstelling en orale blootstelling aan kwartsstof vormen geen risico voor de gezondheid.

Inhalatie van fijne kwartstofdeeltjes diep in de longen (respirabele fractie) leidt tot het neerslaan van de kwartsdeeltjes op het longweefsel. Het longmilieu (afweercellen in het longslim) is in staat kwartsdeeltjes uit de long te verwijderen door de zogenaamde klaring waarbij de kwartsdeeltjes via de keelholte worden ingeslikt. Bij zeer lage blootstelling zal er geen beschadiging van longweefsel optreden [website: mens-en-gezondheid.info.nu.nl; het zelfreinigend vermogen van de longen].

Kwartstofdeeltjes kunnen bij voldoende hoge blootstelling echter wel zorgen voor beschadiging van de longcellen met als gevolg ontstekingen waardoor littekens ontstaan. Het aantal beschadigingen dat optreedt is dan van invloed op het functioneren van de longen. Bij een klein aantal beschadigingen en kleine littekens is er nauwelijks invloed op het functioneren van de longen. Als het aantal beschadigingen

en littekens echter toeneemt kan de longfunctie afnemen, wordt de ademhaling wordt verstoord en kan er silicose optreden. Daarbij is de totaal opgelopen dosis leidend voor het risico, de zogenaamde cumulatieve blootstelling.

Bij gelijke cumulatieve blootstelling is het van minder belang of deze blootstelling steeds in kleine hoeveelheden is opgetreden of dat deze blootstelling is opgetreden op een paar korte momenten met wat hogere blootstelling. Het gaat immers om een chronisch gezondheidsrisico waarbij de totaal opgetelde blootstelling van belang is. Acute effecten van blootstelling aan kwarts kunnen wel optreden, maar alleen bij extreem hoge blootstelling (bijvoorbeeld bij zandstralen van spijkerbroeken of het bewerken van composieten aanrechtbladen), maar dit is bij relatief lage blootstelling aan kwarts niet relevant, ook niet bij de werknemers die zelf betrokken zijn bij de werkzaamheden met kwartshoudende ballast en een veel hogere blootstelling kunnen hebben dan derden en omstanders.

Een vergelijkbaar ontstekingsmechanisme wordt verondersteld bij het ontstaan van hart- en vaatziekten. Om die aandoening te realiseren zijn de kwartsdeeltjes nog veel kleiner dan de respirabele fractie waardoor de deeltjes vanuit de long in de bloedbaan terecht kunnen komen en daar ontstekingen aan de binnenzijde van de bloedvaten kunnen veroorzaken.

### 3.1.3 Gezondheidsrisico's van fijnstof

#### 3.1.4 Normen voor blootstelling

Er bestaan diverse gezondheidskundige onderbouwingen van de grenswaarde voor beroepsmatige blootstelling aan respirabel kwarts. In dit rapport is gekozen voor de Nederlandse onderbouwing [14]. Op dit moment is de publieke consultatie van het concept-rapport over respirabele kristallijne silica afgesloten en is het wachten op het definitieve rapport van de Gezondheidsraad.

Het Amerikaanse ADTSR concludeert in haar publicatie dat de hoogste blootstellingsrisico's voor kwarts bij niet beroepsmatig blootgestelden hoogstwaarschijnlijk worden gelopen door inhalatie van respirabel kwarts [15]. Blootgestelde risicogroepen wonen bijvoorbeeld in de buurt van steengroeven, zand en steenslag winningsbedrijven of bij plaatsen waar brokken steen worden vermalen. Blootstelling kan ook plaats vinden onder specifieke meteorologische condities zoals vulkaanuitbarstingen, opslag van mijnafval en verstuiving van woestijnzand [17].

#### *Beroepsmatig blootstelling*

De Nederlandse arbeidsomstandighedenwetgeving kent op dit moment een wettelijke grenswaarde voor blootstelling aan respirabel kwarts van  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als gemiddelde blootstelling over een 8-urige werkdag. De Nederlandse grenswaarde is lager dan de huidige Europese grenswaarde ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). De grenswaarde voor kwarts wordt momenteel opnieuw geëvalueerd door de Nederlandse Gezondheidsraad en de verwachting is dat de Nederlandse grenswaarde verder wordt verlaagd.

Voor beroepsmatige blootstelling aan inhaleerbaar of respirabel stof zijn in Nederland momenteel geen wettelijke grenswaarden vastgesteld. Recent heeft de Stichting railAlert private grenswaarden voor de railsector vastgesteld: inhaleerbaar stof 4 mg/m<sup>3</sup> en voor respirabel stof 1,25 mg/m<sup>3</sup>.

## Milieu

De Nederlandse milieuwetgeving kent verschillende normen voor blootstelling aan fijnstof (zie onderstaande Tabel 10). Deze zijn gebaseerd op de Europese grenswaarden voor luchtkwaliteit. Nederland heeft geen milieunorm voor blootstelling aan respirabel kwartstof.

Tabel 10. Normen voor blootstelling aan fijnstof zoals die in dit rapport zijn toegepast.

Stof	Norm	Waarde
PM <sub>10</sub>	Jaargemiddelde grenswaarde	40 µg/m <sup>3</sup>
	Daggemiddelde grenswaarde	50 µg/m <sup>3</sup>
	WHO advieswaarde (jaargemiddelde)	15 µg/m <sup>3</sup>
PM <sub>2,5</sub>	Jaargemiddelde grenswaarde	20 µg/m <sup>3</sup>
	WHO advieswaarde (jaargemiddelde)	5 µg/m <sup>3</sup>

Op dit moment is, voor zover ons bekend, slechts één norm vastgesteld voor milieublootstelling aan kwartsstof en wel door de staat Vermont in de VS. Deze is vastgesteld als een jaargemiddelde norm van 0,12 µg/m<sup>3</sup> (ter vergelijking: de wettelijke grenswaarde voor beroepsmatige blootstelling is 75 µg/m<sup>3</sup> als daggemiddelde blootstelling). De (beschikbare) norm voor blootstelling aan kwarts in het milieu is dus aanzienlijk strenger.

De norm voor milieublootstelling aan kwartsstof in Vermont is sinds 1998 afgeleid van de drempelwaarde (Threshold Limit Value) voor respirabele silica van de ACGIH van 50 µg/m<sup>3</sup>. Deze waarde is gedeeld door een factor 100 om te corrigeren voor mogelijke onzekerheid in het model van de afleiding.

Kristallijne silica is opgenomen in de categorie II (Hazardous Air Contaminants believed to Cause Chronic Systemic Toxicity Due to Long Term Exposure) en niet in categorie I (Hazardous Air Contaminants Known or Suspected To Cause Carcinogenicity) [17]. Categorie II stoffen worden vervolgens nog gedeeld door een factor 4,2 om te corrigeren voor een langere blootstellingstijd en extrapolatie van de gezonde medewerker naar het algemene publiek. Indien deze twee factoren tezamen worden toegepast op de TLV van 50 µg/m<sup>3</sup> dan komt men uit op een norm voor milieublootstelling van 0,12 µg/m<sup>3</sup>, vastgesteld als cumulatieve blootstelling over een jaar.

Als we de vigerende Nederlandse grenswaarde voor beroepsmatige blootstelling (75 µg/m<sup>3</sup>) zouden hanteren en volgens deze zelfde systematiek een milieunorm zouden afleiden, dan zou de Nederlandse jaargemiddelde norm op 0,18 µg/m<sup>3</sup> uitkomen.

Als uitgangspunt is echter genomen de Amerikaanse norm van 0,12 µg/m<sup>3</sup>.

### 3.1.4 Blootstelling

In de literatuur is beperkte informatie beschikbaar over milieublootstelling aan respirabel kwartsstof door industriële activiteiten.

In Zuid-Afrika werden in een onderzoek naar de blootstelling aan kwarts door afvalbergen van goudmijnen tot 1500 meter concentraties gevonden tussen de 0,23 en 19,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respirabel kwarts [19].

Emissie metingen van bewerkingen in Engelse steengroeven (bewerkingen) met een experimentele opstelling liet dicht bij de bewerkingen benedenwindse mediane concentraties zien tot 9,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  [20].

In een recent artikel wordt ingegaan op de factoren die de blootstelling reizigers, conducteurs en machinisten beïnvloeden. Zo is er toename in de blootstelling bij nieuw geopende tunnels. De gemeten blootstelling nam toe bij geopende deuren op ondergrondse stations (passagiers en service staff). Als de deur van de machinist dicht blijft fungeert deze als filter/buffer voor de grotere deeltjes. Hoogste blootstelling werd gemeten in het passagiers deel, dan bij de service staff. De machinist had de laagste blootstelling. Reizigers hebben de hoogste concentratie deeltjes blootstelling maar service staff de hoogste dagelijkse dosis [21]. Omdat de metingen zijn uitgevoerd naar de fijnstofconcentraties  $\text{PM}_{10}$  en  $\text{PM}_{2.5}$  zijn deze kwantitatief lastig te vertalen naar blootstellingen aan respirabel kwarts.



## 4. Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de blootstellingsschattingen voor derden gepresenteerd.

In § 4.1 t/m 4.3 worden de resultaten beschreven van de eerste vier blootstellingsscenario's en zijn de berekeningen opgenomen in bijlage 1. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen beroepsmatige en niet beroepsmatige blootstelling.

Bij niet beroepsmatige blootstelling worden per blootgestelde groep de jaargemiddelde concentraties over alle voor hen relevante scenario's gesommeerd. Die sommaties kunnen dan worden getoetst aan de jaargemiddelde norm. Hieronder vallen reizigers, omwonenden, omstanders, winkelpersoneel en personeel fietsenstalling.

Bij beroepsmatige blootstelling wordt de daggemiddelde blootstelling getoetst aan de Nederlandse wettelijke grenswaarde. Hieronder vallen inspecteurs en bouwmanagers van ProRail tijdens de ballastroerende werkzaamheden en personeel dat werkzaam is op perrons van stations. Verder schoonmakers, schilders, onderhoudsmedewerkers en aannemers tijdens specifieke werkzaamheden door opwervelen van besmette oppervlakken nadat de ballastroerende werkzaamheden zijn afgerond.

### 4.1 De gebruikte concentraties

In de onderstaande tabel worden de kengetallen weergegeven van de gebruikte concentraties aan respirabel kwarts in de berekening van de blootstelling van zowel beroepsmatig blootgestelde personen als niet-beroepsmatig blootgestelde personen.

Tabel 11. Blootstellingswaarden zoals die in de berekeningen van de blootstelling zijn gebruikt.

Waarde	Concentratie respirabel kwarts $\mu\text{g}/\text{m}^3$						
	5 meter	10 meter	50 meter	100 meter	Secundaire blootstelling beroepsmatig	Secundaire blootstelling niet beroepsmatig	Passerende trein
Minimum	0,10	0,03	0,002	0,001	2,56	0,07	2 (5 m) 0,07 (10 m)
Maximum	72,70	20,70	1,100	0,300	7,25	0,08	
95-percentiel	45,50	14,14	0,670	0,190	7,10	0,08	
Rekenkundig gemiddelde	8,55	2,50	0,129	0,035	4,63	0,075	

Voor het bepalen van de primaire blootstelling zijn de meetresultaten van de 41 metingen gebruikt zoals weergegeven in Tabel 7. Met primaire blootstelling wordt bedoeld de blootstelling/emissie die kan optreden bij de bron. Op grond daarvan is de

blootstelling berekend op verschillende afstanden van de bron zoals is beschreven in paragraaf 2.6.

In de kolom *Secundaire blootstelling beroepsmatig* worden de concentraties weergegeven die zijn gebruikt voor derden waarbij indirecte blootstelling relevant kan zijn. Hierbij gaat het dan om blootstelling doordat stof op oppervlakken door hun werkzaamheden weer in de lucht komt en mogelijk respirabel kwarts bevat. Voor de concentraties zoals genoemd in Tabel 11 zijn metingen gebruikt uitgevoerd tijdens werkzaamheden in de Willemsspoortunnel en de Delft Spoortunnel [1]. Zie ook tabel ... in bijlage 1.

De waarden voor secundaire niet beroepsmatige blootstelling is gebaseerd op een expert beoordeling waarbij gebruik is gemaakt van de resultaten van de waarden die zijn gemeten bij treinpassage. Voor de resultaten van treinpassage is gebruik gemaakt van het meetresultaat uit Tabel 7 (hiervoor was slechts 1 meting beschikbaar). Zie uitleg in bijlage 1.

In de keuze van de blootstelling voor derden is steeds de maximale concentratie (oranje arcering in de tabel) gebruikt die is berekend voor die afstand. Voor de beroepsmatige blootstelling is, gezien de enorme spreiding in de gemeten concentraties, ook het 95-percentiel en de gemiddelde waarde voor de concentratie doorgerekend.

In het rapport over blootstelling aan respirabel (kwarts)stof tijdens ballastroerende werkzaamheden in de Schiphol-tunnel [22], werden op grote afstand van die werkzaamheden op de perrons van het station alleen concentraties beneden de detectiegrens gemeten ( $<1,31 - < 2,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Dit onderbouwd de aanname van de worst-case benadering.

Zie ook bijlage 1 Tabel 22.

## 4.2 Beroepsmatige blootstelling

In de onderstaande tabellen worden per blootstellingssituatie de blootstelling aan respirabel kwarts per blootgestelde groep weergegeven (TGG 8 uur) gebaseerd op de maximale concentratie, het 95-percentiel en het rekenkundig gemiddelde van 41 metingen.

De grenswaarde voor toetsing is  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Detailinformatie kan worden gevonden in bijlagen 1 en 2.

### 4.2.1 Blootstellingsituatie 1 (ondergronds station bij werkzaamheden in een tunnel)

Zie voor details bijlage 2 Tabel 24.

*Tabel 12. Resultaten maximale concentratie blootstelling van de blootstellingsscenario's per blootgestelde groep.*

Blootgestelde Groep	TGG(8 uur) worst-case	TGG(8 uur) 95 percentiel	TGG(8 uur) gemiddeld
Treinmachinisten/ conducteurs	9,09	5,69	0,25
Storingsmonteurs/ Externe aannemers	72,70	45,50	8,55
Overige groep 1c	72,70	45,50	8,55
Inspecteurs/ bouwmanagers	72,70	45,50	8,55
Secundaire blootstelling	7,25	7,10	4,63

Tabel 12 blijkt dat de blootstelling van beroepsmatig blootgestelde groepen in blootstellingssituatie 1 onder de grenswaarde blijft, ook bij de maximaal berekende concentraties.

#### 4.2.2 Blootstellingsituatie 2 (werkzaamheden op een bovengronds station)

Zie voor details bijlage 2 Tabel 25.

*Tabel 13. Resultaten maximale concentratie blootstelling van de blootstellingsscenario's per blootgestelde groep.*

Blootgestelde Groep	TGG(8 uur) worst-case	TGG(8 uur) 95 percentiel	TGG(8 uur) gemiddeld
Treinmachinisten/ conducteurs	9,09	5,69	1,07
Storingsmonteurs/ Externe aannemers	72,70	45,50	8,55
Overige groep 1c	72,70	45,50	8,55
Inspecteurs/ bouwmanagers	72,70	45,50	8,55
Groepen beroepsmatige secundaire blootstelling	7,25	7,10	4,63

Uit Tabel 13 blijkt dat de blootstelling van beroepsmatig blootgestelde groepen in blootstellingssituatie 2 onder de grenswaarde blijft, ook bij de maximaal berekende concentraties.

## 4.2.3 Blootstellingsituatie 3 en 4

In deze blootstellingssituaties is geen beroepsmatig blootstellingsscenario van derden vastgesteld. Zie ook bijlage 2 Tabel 26 en Tabel 27.

## 4.2.4 Blootstelling totaal

In Tabel 14 zijn de maximaal berekende blootstellingen (als TGG) opgenomen over alle blootstellingsscenario's voor de blootgestelde groep.

*Tabel 14. Resultaten maximale concentratie blootstelling van alle blootstellingsscenario's per blootgestelde groep*

Beroepsmatig Blootgestelde Groep	TGG(8 uur) worst-case	TGG(8 uur) 95 percentiel	TGG(8 uur) gemiddeld
treinmachinisten/ conducteurs	9,09	5,69	1,07
Storingsmonteurs/ Externe aannemers	72,70	45,50	8,55
Overige groep 1c	72,70	45,50	8,55
Inspecteurs/ bouwmanagers	72,70	45,50	8,55
Groepen beroepsmatige secundaire blootstelling	7,25	7,10	4,63

Omdat voor bepaalde groepen derden meerdere scenario's relevant kunnen zijn wordt voor beroepsmatig blootgestelden gekeken welk van de scenario's de hoogste blootstelling kan opleveren. Uit deze tabel blijkt dat de blootstelling van beroepsmatig blootgestelde groepen in blootstellingssituatie 1 en 2 te allen tijde onder de grenswaarde blijft bij de maximaal berekende concentraties. De werkelijke blootstelling zal eerder lager zijn zoals uit de gevoeligheidsanalyse (95-percentiel) blijkt.

## 4.3 Niet beroepsmatige blootstelling

De norm voor toetsing is de jaargemiddelde blootstelling van  $0,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$  zoals die in de staat Vermont (VS) is vastgesteld.

Tabel 15. Jaargemiddelde blootstelling per blootstellingssituatie 1 t/m 4 en totaal voor niet beroepsmatig blootgestelde individuen.

Blootgestelde Groep	Jaargemiddelde blootstelling in $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{jaar}$ (worst-case)				
	Situatie 1	Situatie 2	Situatie 3	Situatie 4	Totaal
Reizigers	0,020	0,038	-	0,000	0,058
Winkelend publiek (w.o. ook winkelpersoneel / medewerkers fietsenstalling)	0,001	0,001	-	-	0,001
Omwonenden	-	-	0,096	0,007	0,103
Omstanders	-	-	0,002	0,000	0,002

Voor elk van de groepen is de blootstelling allereerst berekend als slechts één van de situaties relevant is (bijvoorbeeld een reiziger wordt alleen blootgesteld op een station in een tunnel, maar blootstelling in andere situaties zijn niet relevant). Voor iedere situatie is per blootstellingsscenario de blootstelling berekend. Per situatie zijn de resultaten van alle blootstellingsscenario's bij elkaar opgeteld. De resultaten zijn in de kolommen *Situatie 1 t/m situatie 4* opgenomen. In de kolom *Totaal* is berekend wat de totale blootstelling is als alle vier de situaties naast elkaar relevant zijn. Zie ook Tabel 28 in bijlage 2.

Uit de tabel blijkt dat omwonenden het hoogst worden blootgesteld in situatie 3, werkzaamheden aan het spoor buiten een tunnel of station. Reizigers worden het hoogst blootgesteld in situatie 2, bijna 2x zo hoog als in de vergelijkbare situatie in een tunnel (situatie 1), vooral omdat de afstand tot de werkzaamheden in deze situatie veel korter kunnen zijn. Winkelpersoneel of personeel van een fietsenstalling hebben nauwelijks blootstelling.

In geen enkel scenario wordt de norm van  $0,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$  overschreden.

#### 4.4 Langdurig tijdelijk tussen-depot

In bijlage 3 (Tabel 29) zijn de meetgegevens opgenomen die zijn gebruikt voor de berekeningen van de bronsterkte bij reguliere werkzaamheden en vegen met een veegwagen.

Hieronder worden deze nogmaals in twee tabellen weergegeven.

Tabel 16. Samenvatting van de brongegevens die zijn gebruikt voor het vaststellen van de bronsterkte t.b.v. modelberekeningen voor reguliere werkzaamheden in een depot.

Metingen TNO (mg/m <sup>3</sup> )				
17 meetwaarden	Parameter	min	max	95%
mg/m <sup>3</sup>	inhaleerbaar stof   PM10	0,07	1,6	2,51
	respirabel stof   PM2.5	0,03	0,19	0,23
	respirabel kwarts	0,012	0,076	0,09
bronsterkte in mg/min (4,5 m/sec)	inhaleerbaar stof   PM10	2,75	60	92,5
	respirabel stof   PM2.5	1,1	7	8,3
	respirabel kwarts	0,44	2,8	3,32

Voor de berekeningen zijn de waarden van het 95-percentiel gebruikt.

Tabel 17. Brongegevens voor het vaststellen van de bronsterkte bij vegen van een depot.

Vegen (hoogste meetwaarden TNO = PROFILEERMACHINE)			
Parameter	gemeten concentratie (stationair) mg/m <sup>3</sup>	Te gebruiken concentratie mg/m <sup>3</sup>	bronsterkte mg/min (4,5 m/s)
inhaleerbaar stof   PM <sub>10</sub>	430	430	15750
respirabel stof   PM <sub>2.5</sub>	24	24	875
respirabel kwarts	3,2	9,6	355

Voor de berekeningen zijn de waarden uit de kolom te gebruiken concentratie gebruikt.

#### 4.4.1 Blootstelling door reguliere werkzaamheden

In bijlage 4 is blootstelling voor fijnstof en respirabel kwarts uitgerekend voor omwonenden op verschillende afstanden en voor verschillende blootstellingsduur. De blootstellingsduur wordt bepaald door de weersomstandigheden (windrichting, windkracht en regen), de werkzaamheden en de beheersmaatregelen. Omdat de weersomstandigheden niet vooraf kunnen worden ingeschat is alleen de windkracht als parameter gebruikt; 4,5 m/s. Omdat de gebruikte metingen uit het TNO-rapport zowel bewerkingen van natte als droge ballast betreffen wordt daar in de berekeningen verder geen rekening meer mee gehouden en wordt als worst-case standaard uitgegaan van droge ballast.

In de bijlage worden de blootstelling voor PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> en respirabel kwarts vergeleken met dagnormen (Tabel 32) als voor een bepaalde blootstellingsperiode (Tabel 33, Tabel 34 en Tabel 35).

Tabel 18. Resultaten van de berekende blootstelling voor 1 dag, op 4 afstanden van de ballasthoop door reguliere werkzaamheden, vergeleken met de Nederlandse grenswaarde (GW) en de WHO-advieswaarde (AW) voor fijnstof.

PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )			
Afstand (m)	P95%	GW NL (daggemiddelde) (50 µg/m <sup>3</sup> )	AW WHO (daggemiddelde) (15 µg/m <sup>3</sup> )
10	16,0	32%	107%
25	3,0	6%	20%
50	0,9	2%	6%
100	0,2	0%	1%
PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )			
Afstand (m)	P95%	GW NL (daggemiddelde) (20 µg/m <sup>3</sup> )	AW WHO (daggemiddelde) (5 µg/m <sup>3</sup> )
10	1,4	7%	28%
25	0,3	2%	6%
50	0,08	0%	2%
100	0,02	0%	0%
Kwartshoudende ballast 40% respirabel stof (µg/m <sup>3</sup> )			
Afstand (m)	P95%	GW NL (daggemiddelde) (0,12 µg/m <sup>3</sup> )	
10	0,56	467%	
25	0,12	100%	
50	0,032	27%	
100	0,008	7%	

Voor de regulier werkzaamheden wordt de WHO-advieswaarde voor dagelijks blootstelling overschreden voor inhaleerbaar stof bij afstand tot 10 meter van de ballasthoop. Voor respirabel kwarts wordt de norm overschreden tot 25 meter tot de ballasthoop.

Gebleken is dat de blootstelling aan respirabel kwarts de belangrijkste risicofactor is en deze tabel wordt daarom hier weergegeven voor de jaargemiddelde blootstelling.

Tabel 19. Resultaten van de berekende jaargemiddelde blootstelling voor vier verschillende perioden van blootstelling, op 4 afstanden van de ballasthoop door reguliere werkzaamheden, vergeleken met de grenswaarde voor respirabel kwarts.

Respirabel kwarts			
Depot 90 dagen (3 maanden)		Blootstelling P <sub>95%</sub>	
Blootstellingsduur	Afstand (meter)	µg/m <sup>3</sup>	% GW Vermont (0,12 µg/m <sup>3</sup> )
15	10	0,56	19,18%
	25	0,12	4,11%
	50	0,032	1,10%
	100	0,008	0,27%
30	10	0,56	38,36%
	25	0,12	8,22%
	50	0,032	2,19%
	100	0,008	0,55%
60	10	0,56	76,71%
	25	0,12	16,44%
	50	0,032	4,38%
	100	0,008	1,10%
90	10	0,56	115,07%
	25	0,12	24,66%
	50	0,032	6,58%
	100	0,008	1,64%

Uit de bovenstaande tabel blijkt overschrijding mogelijk bij langdurige blootstelling (alle dagen gedurende de maximale duur van 3 maanden van het depot) aan respirabel kwarts op 10 meter van de ballasthoop.

## 4.4.2 Blootstelling door vegen

In bijlage 5 zijn de resultaten voor blootstelling aan fijnstof door vegen samengevat en vergeleken met dagnormen en jaargemiddelde normen (Nederland en WHO). Hieronder wordt de samenvatting van die vergelijking met de Nederlandse norm weergegeven

Tabel 20. Blootstelling aan drie fijnstof parameters op 1 dag bij veegwerkzaamheden vergeleken met Nederlandse grenswaarden.

Vergelijken met Nederlandse GW (dagelijkse blootstelling)								
Vegen (bronwaarden)				$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
Vegen (hoogste meetwaarden TNO = PROFILERMACHINE)	gemeten concentratie (stationair) $\text{mg}/\text{m}^3$	te gebruiken concentratie	bronsterkte $\text{mg}/\text{min}$	10 meter	25 meter	50 meter	100 meter	GW NL dag
inhaleerbaar stof   $\text{PM}_{10}$	430	430	15750	2720	518	148	40	50
respirabel stof   $\text{PM}_{2.5}$	24	24	875	151	28,8	8,2	2,3	20
respirabel kwarts	3,2	9,6	355	61,3	11,7	3,3	1	0,12

Uit deze tabel blijkt dat voor fijnstof het depot minstens 100 meter van woningen dient te liggen ( $\text{PM}_{10}$ ) en het liefst verder dan 100 meter (respirabel kwarts).

Gebleken is dat de blootstelling aan respirabel kwarts de belangrijkste risicofactor is en deze tabel wordt daarom hier weergegeven voor de jaargemiddelde blootstelling.

Tabel 21. Resultaten van de berekende jaargemiddelde blootstelling voor vier verschillende aantallen dagen vegen, op 4 afstanden van de ballasthoop, vergeleken met de Nederlandse grenswaarde en de WHO-advieswaarde voor  $\text{PM}_{10}$ .

Respirabel kwarts			
Depot 90 dagen (3 maanden)		Blootstelling (max)	
Blootstellingsduur (dagen vegen)	Afstand (meter)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	% GW Vermont ( $0,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )
1	10	61	140,0%
	25	12	26,7%
	50	3	7,5%
	100	1	2,3%
3	10	61	419,9%
	25	12	80,1%
	50	3	22,6%
	100	1	6,8%
6	10	61	839,7%
	25	12	160,3%
	50	3	45,2%
	100	1	13,7%
10	10	61	1399,5%
	25	12	267,1%
	50	3	75,3%
	100	1	22,8%

In Apeldoorn werd gemiddeld 1 keer per twee weken geveegd. Bij een depot dat 3 maanden operationeel is zou dat neerkomen op 6 keer vegen. Om onder de jaargemiddelde norm te blijven dient de afstand tot het depot minimaal 50 meter te zijn.



## 5. Bespreking van de resultaten en conclusies

Tijdens werkzaamheden met kwartshoudende ballast kunnen werknemers worden blootgesteld aan respirabel kwarts. Deze blootstelling is eerder door TNO uitgebreid onderzocht en valt buitend de vraagstelling van dit rapport. Tijdens de werkzaamheden met kwartshoudende ballast kunnen echter ook derden worden blootgesteld die centraal staan in dit rapport. De hoofdvraagstelling van het onderzoek in dit rapport is: 'Zijn er gezondheidsrisico's voor derden door blootstelling aan respirabel kwartsstof in verband met ballastroerende werkzaamheden bij onderhoud en vernieuwing van spoortrajecten'.

In een werkbijeenkomst met sleutelinformanten zijn zoveel mogelijk groepen benoemd die vallen binnen het begrip 'derden'. Daaronder vallen omwonenden en reizigers, maar ook diverse groepen die als onderdeel van hun werkzaamheden als omstanders kunnen worden blootgesteld aan kwartsstof.

Vervolgens zijn alle situaties waarbij blootstelling kan plaatsvinden benoemd en per situatie zoveel mogelijk momenten van blootstelling benoemd. Voor elk van die momenten is geïnventariseerd op welke afstand dit is van de werkzaamheden met kwartshoudende ballast en hoe vaak en hoe lang het moment van blootstelling kan optreden. Voor de inschatting van de blootstelling is daarbij steeds gebruik gemaakt van worst-case keuzes: keuze voor de kortst mogelijke afstand, keuze voor de hoogste frequentie van blootstelling en de langst mogelijke duur van blootstelling en voor elke groep het optellen van alle momenten van blootstelling die relevant zouden kunnen zijn.

Voor elk blootstellingsmoment is vervolgens een schatting gemaakt van de hoogte van blootstelling aan kwartsstof. Uitgangspunten voor deze schatting zijn vooral de metingen geweest die TNO in eerdere projecten heeft gedaan en informatie geeft over de concentratie aan respirabel stof en kwarts in de nabijheid van de bron. Deze zijn vertaald naar concentraties op verschillende afstanden van de bron. Om uitspraken te doen over de risico's van blootstelling aan kwartsstof is het meest reëel om de gemiddelde blootstelling als uitgangspunt te hanteren. Ook hier hebben we echter in eerste instantie gekozen voor een worst-case benadering door uit te gaan van de hoogste concentratie in de range van in totaal 41 schattingen. De informatie over de hoogte van de blootstelling is gecombineerd met de informatie over mate en duur van blootstelling.

De blootstelling aan respirabel kwarts blijft zowel bij beroepsmatige blootstelling als bij niet beroepsmatige blootstelling in de eerste vier situaties te allen tijde onder de gevonden grenswaarden en normen:

1. De beroepsmatige blootstelling van derden blijft bij worst-case berekeningen onder de wettelijke grenswaarde voor respirabel kwarts. De werkelijke blootstelling zal echter lager liggen zoals blijkt uit de gevoeligheidsanalyse.

2. Ook in worstcase berekeningen worden waarden voor de jaargemiddelde blootstelling gevonden die lager liggen dan de norm zoals die in de VS is afgeleid en in de staat Vermont wordt gehanteerd.

De conclusie is dat ballastroerende werkzaamheden bij kortdurende werksituaties niet leidt tot significante blootstelling aan respirabel kwartstof bij derden. Daardoor zijn bij deze blootgestelde groepen geen gezondheidseffecten te verwachten.

Bij een langdurig depot kunnen overschrijdingen van milieunormen optreden voor  $PM_{10}$  en respirabel kwarts. Dit kan zorgen voor gezondheidsrisico's bij omwonenden. Als minimale afstand tot woningen voor een tussen-depot wordt 100 meter geadviseerd op basis van de mogelijke overschrijding van daggemiddelde waarden bij vegen.

## 6. Literatuuroverzicht

1. P. van Balen. Gezondheidsrisico's kwartshoudende ballast. PreventPartner 20210331-1PvB, 31 maart 2021.
2. P. van Balen en R. Houba. Feitenrelaas blootstelling aan (fijn)stof van tijdelijk depot Mezenweg / Kanaal Zuid Apeldoorn (2023). PreventPartner 20240111-PvB\_RH, 11 januari 2024.
3. P. van Balen en R. Houba. Risicobeoordeling van omwonenden door blootstelling aan (fijn)stof van tijdelijk depot Mezenweg / Kanaal Zuid Apeldoorn (2023). PreventPartner 20240120-PvB\_RH, 20 januari 2024.
4. P.v.Balen et al. Risico's van fijnstof in spoortunnels. Rapport ProRail 2021-01. PreventPartner, 29 maart 2021.
5. P. Tromp. Onderzoek naar het vrijkomen van stof en schadelijke componenten tijdens handelingen met ballast. TNO-rapport 2020 R11703A. 31 augustus 2021.
6. P. Tromp et al. Onderzoek naar blootstelling aan inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwartsstof tijdens handelingen met ballast - Fase 2 & 3. TNO-rapport 2021 R11657 - CONCEPT. 14 september 2021.
7. P.C.Tromp et al. Onderzoek naar blootstelling aan inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwartsstof tijdens handelingen met ballast - Fase 2 & 3. TNO-rapport 2023 R10784. 21 december 2023.
8. C.B. Keil et al editors. Mathematical Models for Estimating Occupational Exposure to Chemicals. Chapter 16. Air dispersion Plume Models. AIHA (2009).
9. NEN. Bepaling en registratie van industriële fijnstofemissies. NTA 8029:2012+C1 (2013).
10. KNMI. LH15, langjarige gemiddelden, tijdvak 1991-2020. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, [www.knmi.nl/klimaat-viewer](http://www.knmi.nl/klimaat-viewer).
11. <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/luchtkwaliteit/regelgeving/wet-milieubeheer/beoordelen/regeling-beoordeling/>. Website bezocht 08-12-2021.
12. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Arsenic, Metals, Fibers and Dusts. Volume 100C a review of human carcinogens. Chapter: Silica dust, crystalline, in the form of quartz or cristobalite, (2012) pp 355 - 406.
13. WHO. Crystalline Silica, quartz. (2000).
14. Dutch Expert Committee on occupational standards. Health based recommended occupational exposure limits for crystalline forms of silicondioxide (free silica). (1992).
15. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for Silica. U.S. Department of Health and Human Services. September 2019.
16. B. Sjögren et al. 153. Occupational chemical exposures and cardiovascular disease. §8.2 Crystalline silica. The Nordic Expert Group for Criteria Documentation of Health Risks to Chemicals. (2020) 46 - 53.
17. Toxicological Advisory Committee - Agency of Natural Resources. Air Toxics Report. State of Vermont (1998).

18. Air Quality & Climate Division, Agency of Natural Resources. Air Pollution Control Regulations. State of Vermont (2018).
19. T. Madzivhandila. Characterization of respirable crystalline silica dust around abandoned mines situated in Roodepoort, West Rand, Johannesburg. (2017).
20. P. Stacey et al., Determination of respirable-sized crystalline silica in different ambient environments in the United Kingdom with a mobile high flow rate sampler utilising porous foams to achieve the required particle size selection. *Atmospheric Environment* 182 (2018) 51-57
21. Y. cha et al. Factors effecting the exposure of passengers, service staff and train drivers inside trains to airborne particles. *Environmental Research*, volume 166, october 2018, 16-24.
22. E. van Deurssen, Rapportage Blootstellingsonderzoek Stof en Kwarts, Schiphol tunnel. RPS 20210324\_100433\_0022. 26 mei 2021.

## Bijlage 1 Berekende concentraties kwarts op vier afstanden.

In Tabel 22 zijn de berekende concentratie respirabel kwarts per bewerking weergegeven. De brongegevens staan in Tabel 7 en de berekeningen zijn toegelicht in § 2.6.

Tabel 22. Berekende concentraties respirabel kwarts op 4 afstanden per bewerking.

Zie ook Tabel 7		Respirabel kwarts ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			
Bewerking	Jaar	5 meter	10 meter	50 meter	100 meter
Kettinghor	2010	18,20	5,20	0,300	0,080
Nalossen/kettinghor	1998	1,40	0,40	0,020	0,006
Nalossen/kettinghor	1998	14,50	4,20	0,200	0,060
Nalossen/spoorvernieuwing	1998	4,40	1,30	0,070	0,020
SALT (zonder)	2008	5,50	1,60	0,080	0,020
SALT (met)	2008	0,90	3,00	0,010	0,004
SALT (zonder)	2021	14,50	4,20	0,200	0,060
SALT (zonder)	2021	18,50	5,30	0,300	0,080
SALT (met)	2021	1,80	0,50	0,030	0,008
SALT (met)	2021	0,60	0,20	0,009	0,003
SALT (met)	2021	0,50	0,10	0,008	0,002
SALT (met)	2021	7,60	2,20	0,100	0,030
Stopmachine	2021	12,40	3,50	0,200	0,050
Profielermachine	2021	17,90	5,10	0,300	0,080
Profielermachine	2021	27,30	7,80	0,400	0,100
Eerste treinpassage	2021	2,00	0,07	0,004	0,001
Ontgraven + lossen	2021	0,30	0,09	0,005	0,001
Ontgraven + lossen	2021	0,20	0,05	0,003	0,001
Lossen, spreiden en nivelleren	2021	0,40	0,10	0,005	0,002
Lossen, spreiden en nivelleren	2021	0,60	0,20	0,010	0,003
Beladen vrachtwagens (oude ballast)	2021	0,20	0,04	0,002	0,001
Lossen vrachtwagens/belading krol	2021	0,10	0,04	0,002	0,001

Zie ook Tabel 7		Respirabel kwarts ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			
Bewerking	Jaar	5 meter	10 meter	50 meter	100 meter
Lossen vrachtwagens/belading krol	2021	0,40	0,10	0,005	0,002
Spreiden en nivelleren	2021	0,50	0,10	0,007	0,002
Lossen FACCS	2021	7,60	2,20	0,100	0,030
Lossen FACCS	2021	2,40	0,70	0,040	0,010
Lossen FACCS	2021	3,60	1,00	0,060	0,020
Kettinghor met sproeisysteem	2021	2,10	0,60	0,030	0,009
Kettinghor met sproeisysteem	2021	2,20	0,60	0,030	0,010
Kettinghor met sproeisysteem	2021	4,90	1,40	0,080	0,020
Kettinghor zonder sproeisysteem	2021	0,70	0,20	0,010	0,003
Kettinghor zonder sproeisysteem	2021	0,10	0,03	0,002	0,001
Kettinghor zonder sproeisysteem	2021	2,40	0,70	0,040	0,010
Stopmachine	2021	53,30	15,20	0,800	0,200
Stopmachine	2021	23,60	6,70	0,400	0,100
Trilplaat	2021	1,80	0,50	0,030	0,008
Lossen vrachtwagen depot Tiel	2020	0,10	0,03	0,002	0,001
Beladen ballastwagons	2020	0,30	0,08	0,004	0,001
Storten ballast in spoor	2020	0,20	0,07	0,004	0,001
Stopmachine	2020	21,80	6,20	0,300	0,100
Profileermachine	2020	72,70	20,70	1,100	0,300

## Beroepsmatig secundaire blootstelling

Voor het berekenen van de secundaire blootstelling door opdwarmen van stof waarin zich mogelijk kwarts kan bevinden van oppervlakken (secundaire beroepsmatige blootstelling) is gebruik gemaakt van meetgegevens die zijn verzameld in het kader van het project *Risico's van fijnstof in spoortunnels* [4].

In Tabel 23 zijn de meetwaarden opgenomen die zijn gebruikt bij het bepalen van de secundaire blootstelling van derden werkzaam op perrons nadat de ballastroerende werkzaamheden zijn afgerond. Deze mensen kunnen worden blootgesteld aan stof dat is neergeslagen op oppervlakken. Deze meetwaarden kunnen worden beschouwd als worst-case voor deze personen.

*Tabel 23. Persoonsgebonden metingen aan blootstelling aan respirabel kwarts bij ballastroerende werkzaamheden in spoortunnels.*

Tunnel	Respirabel kwarts ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Willemspoortunnel	6,14
	7,25
Delft Spoortunnel	<2,56
	<2,56
Minimum	<2,65
Maximum	7,25
Gemiddelde	4,63
95-percentiel	7,1

## **Niet beroepsmatige secundaire blootstelling**

Voor de secundaire blootstelling van omwonenden is geen kwalitatieve en kwantitatieve informatie beschikbaar. Om toch een inschatting van het blootstellingsscenario te maken is aangenomen dat de blootstelling door een treinpassage een redelijke benadering is (paarse arcering in Tabel 22).

## **Bijlage 2. De resultaten van de beoordelingen per blootstellingsscenario.**

In deze bijlage wordt per blootstellingsscenario de berekende blootstelling in tabelvorm gegeven.

De samenvatting van de maximale blootstellingen staan in hoofdstuk 4 van deze rapportage.



Tabel 24. Blootstellingssituatie 1 Ballast roerende werkzaamheden in een tunnel.

Type werkzaamheden	Hoe kan blootstelling aan kwartshoudend stof plaatsvinden?	Welke groepen kunnen worden blootgesteld?	Afstand waarmee is gerekend	Relevante hoogste blootstelling op de aangegeven afstand (ug/m3)	TGG(8 uur) worstcase	Relevante blootstelling 95-percentiel op de aangegeven afstand lognormaal	TGG(8 uur) 95%	Jaargemiddelde blootstelling in ug/m3.jaar (worstcase)	Relevante gemiddelde blootstelling op de aangegeven afstand (ug/m3)	TGG(8 uur) GEM	Jaargemiddelde blootstelling in ug/m3.jaar (GEM)
1. Ballast roerende werkzaamheden in een tunnel: - Vervangen ballast - Vervangen spoorstaven  (vervangen ballast veroorzaakt meer stof dan vervangen spoorstaven)  [Station in een tunnel kan gedurende de werkzaamheden ook enige tijd geheel of gedeeltelijk buiten gebruik worden gesteld]	1.a. Werkzaamheden die de werkzaamheden uitvoeren	Onderzoek door TNO									
	1.b. Werkzaamheden in de omgeving ten tijde van de werkzaamheden										
	1.c. Door transport van stof uit de tunnel naar een station/perron in die tunnel tijdens de werkzaamheden	Reizigers - Treinmachinisten - Treinconducteurs	10	20,7	2,5875	14,14	1,7675		0,129	0,016125	0,00004
		Al het personeel dat aanwezig kan zijn op perrons van een station, waaronder (niet-limitatief): - Storingmonteurs - Perronmedewerkers - Service medewerkers - Stationsmanagers - Stationslogistiek - Proceisleiders - Kioskmedewerkers (op perron) - Schoonmakers - Crowd control - Veiligheid & security personeel - Politie/brandweer/ambulance - Externen werkzaam op het perron (bijv. aannemers)	10	20,7	20,7	14,14	14,14		2,495	2,495	
	1.d. Door transport van stof naar aangepaste ruimten van zo'n station tijdens de werkzaamheden (bijv. stationsgebouw, Schiphol Plaza)	Reizigers - Treinmachinisten - Treinconducteurs Winkelpersoneel (retail) Medewerkers fietsenstallingen	50	1,1	0,1375	0,67	0,08375	0,00038	0,129	0,016125	0,00004
			100	0,3	0,3	0,19	0,19	0,00082	0,035	0,035	0,00010
	1.e. Door aanwezigheid van stof in de lucht direct na afloop van de werkzaamheden (hoe lang blijft het stof nog in de lucht hangen na afloop van de werkzaamheden)	Reizigers - Treinmachinisten - Treinconducteurs Alle groepen zoals genoemd bij 1c - Inspecteurs - Bouwmanagers	5	72,7	9,0875	45,5	5,6875	0,00830	8,549	1,068625	0,00098
			5	72,7	72,7	45,5	45,5		8,549	8,549	
	1.f. Door treimbewegingen over het nieuwe spoor nadat ballast weer droog is of door opnieuw opwaarderen van stof door luchtbewegingen (m.n. wind)	Reizigers - Treinmachinisten - Treinconducteurs Al het personeel dat aanwezig kan zijn op perrons van een station. Zie 1c voor een niet-limitatieve lijst	5	2	0,25	2	0,25	0,00457	2	0,25	0,00457
			5	2	2	2	2		2	2	
	1.g. Door contact met stof dat zich heeft afgezet op verschillende oppervlakken op zo'n station	Schoonmakers - Schilders - Onderhoudsmedewerkers - Aannemers tijdens specifieke werkzaamheden	ademzone	7,25	7,25	7,1	7,1		4,62	4,63	

Tabel 25. Blootstellingssituatie 2 Ballast roerende werkzaamheden op een station nabij perrons.

Type werkzaamheden	Hoe kan blootstelling aan kwartshoudend stof plaatsvinden?	Welke groepen kunnen worden blootgesteld?	Afstand waarmee is gerekend	Relevante hoogste blootstelling op de aangegeven afstand (ug/m3)	TGG(8 uur)	Relevante blootstelling 95-percentiel op de aangegeven afstand lognormaal	TGG(8 uur) 95%	Jaargemiddelde blootstelling in ug/m3-jaar	Relevante gemiddelde blootstelling op de aangegeven afstand (ug/m3)	TGG(8 uur) GEM	Jaargemiddelde blootstelling in ug/m3-jaar
2. Ballast roerende werkzaamheden op een station nabij perrons: - Vervangen ballast - Vervangen spoorstaven  [Kan zowel een station in een tunnel zijn als in een kunstwerk]  [Station kan gedurende de werkzaamheden ook enige tijd geheel of gedeeltelijk buiten gebruik worden gesteld en sommige kleinere stations gaan gedurende de werkzaamheden helemaal dicht]	2a. Werknemers die de werkzaamheden uitvoeren	Onderzoek door TNO									
	2b. Werknemers in de omgeving ten tijde van de werkzaamheden										
	2c. Personen aanwezig op het perron tijdens de werkzaamheden	- Reizigers						0,02490			0,00293
		- Treinmachinisten									
		- Treinconducteurs	5	72,7	9,0875	45,5	5,6875		8,549	1,068625	
	2d. Door transport van stof naar aanpalende ruimten van zo'n station tijdens de werkzaamheden (bijv. stationsgebouw, fietsenstalling)	- Al het personeel dat aanwezig kan zijn op perrons van een station. Zie 1c voor een niet-limitatieve lijst	5	72,7	72,7	45,5	45,5		8,549	8,549	
		- Reizigers			0,4125		0,67	0,00038			0,00004
		- Treinmachinisten	50	1,1	0,1375	0,67	0,08375		0,129	0,016125	
	2e. Door aanwezigheid van stof in de lucht direct na afloop van de werkzaamheden (hoe lang blijft het stof nog in de lucht hangen na afloop van de werkzaamheden)	- Treinconducteurs									
		- Winkelpersoneel (retail)	100	0,3		0,19	0,19	0,00082	0,035		0,00010
		- Medewerkers fietsenstallingen									
	2f. Door treinbewegingen over het nieuwe spoor nadat ballast weer droog is of door opnieuw opwarren van stof door luchtbewegingen (m.n. wind)	- Reizigers						0,00830	8,549	1,068625	0,00098
		- Treinmachinisten	5	72,7	9,0875	45,5	5,6875				
		- Treinconducteurs									
	2g. Door contact met stof dat zich heeft afgezet op verschillende oppervlakken op zo'n station	- Alle groepen zoals genoemd bij 1c	5	72,7	72,7	45,5	45,5		8,549	8,549	
		- Inspecteurs									
		- Bouwmanagers									
	2h. Door contact met stof dat zich heeft afgezet op verschillende oppervlakken op zo'n station	- Reizigers						0,00457	2	0,25	0,00457
		- Treinmachinisten	5	2	0,25	2	0,25				
		- Treinconducteurs									
	2i. Door contact met stof dat zich heeft afgezet op verschillende oppervlakken op zo'n station	- Alle overige groepen zoals genoemd bij 1c	5	2	2	2	2		2	2	
		- Schoonmakers									
		- Schilders									
	2j. Door contact met stof dat zich heeft afgezet op verschillende oppervlakken op zo'n station	- Onderhoudsmedewerkers	ademzone	7,25	7,25	7,1	7,1		4,63	4,63	
		- Aannemers tijdens specifieke werkzaamheden									

Tabel 26. Blootstellingssituatie 3 Ballast roerende werkzaamheden buiten stations.

Type werkzaamheden	Hoe kan blootstelling aan kwartshoudend stof plaatsvinden?	Welke groepen kunnen worden blootgesteld?	Afstand waarmee is gerekend	Relevante hoogste blootstelling op de aangegeven afstand (ug/m3)	TGG(8 uur)	Relevante blootstelling 95-percentiel op de aangegeven afstand lognormaal	TGG(8 uur) 95%	Jaargemiddelde blootstelling in ug/m3.jaar	Relevante gemiddelde blootstelling op de aangegeven afstand (ug/m3)	TGG(8 uur) GEM	Jaargemiddelde blootstelling in ug/m3.jaar
3. Ballast roerende werkzaamheden buiten stations: - Vervangen ballast - Vervangen spoorstaven [Er kunnen aanvullende maatregelen gelden, bijvoorbeeld eis van dichte gevels bij gebouwen die dicht op het spoor staan]	3a. Werknemers die de werkzaamheden uitvoeren	Uitvoerend door TNO									
	3b. Werknemers in de omgeving ten tijde van de werkzaamheden										
	3c. Omwonenden rondom het werkgebied tijdens de werkzaamheden	Omwonenden	10	20,7				0,08507	2,495		0,01025
	3d. Omstanders tijdens de werkzaamheden buiten het werkgebied anders dan omwonenden	Toeschouwers werkzaamheden	10	20,7				0,00236	2,495		0,00028
	3e. Door aanwezigheid van stof in de lucht direct na afloop van de werkzaamheden (hoe lang blijft het stof nog in de lucht hangen na afloop van de werkzaamheden)	Omwonenden	10	0,07				0,00038	0,07		0,00038
	3f. Door treimbewegingen over het nieuwe spoor nadat ballast weer droog is of door opnieuw opdwarsen van stof door luchtbewegingen (m.n. wind)	Omwonenden	10	0,07				0,00537	0,07		0,00537
	3g. Door contact met stof dat zich heeft afgezet op verschillende oppervlakken in de nabijheid van het nieuwe spoor	Omwonenden	ademzone	0,07				0,00537	0,07		0,00537

Tabel 27. Blootstellingsituatie 4 Tijdelijke depot van ballast als werkvoorraad voor werkzaamheden.

Type werkzaamheden	Hoe kan blootstelling aan kwartshoudend stof plaatsvinden?	Welke groepen kunnen worden blootgesteld?	Afstand waarmee is gerekend	Relevante hoogste blootstelling op de aangegeven afstand (ug/m3)	TGG(8 uur)	Relevante blootstelling 95-percentiel op de aangegeven afstand lognormaal	TGG(8 uur) 95%	Jaargemiddelde blootstelling in ug/m3.jaar	Relevante gemiddelde blootstelling op de aangegeven afstand (ug/m3)	TGG(8 uur) GEM	Jaargemiddelde blootstelling in ug/m3.jaar
4. Tijdelijke depot van ballast als werkvoorraad voor werkzaamheden zoals genoemd bij 1-3: - Storten voorraad ballast op een berg in nabijheid werkzaamheden - Transport ballast van werkvoorraad naar spoor	4a. Werknemers die de werkzaamheden uitvoeren	Onderzoek door TNO									
	4b. Werknemers in de omgeving ten tijde van de werkzaamheden										
	4c. Omwonenden rondom het werkgebied tijdens de werkzaamheden	Omwonenden	10	0,08				0,00011	0,075		0,00010
	4d. Omstanders tijdens de werkzaamheden buiten het werkgebied anders dan omwonenden	Toeschouwers werkzaamheden	10	0,08				0,00001	0,075		0,00001
	4e. Door aanwezigheid van stof in de lucht direct na afloop van de werkzaamheden (hoe lang blijft het stof nog in de lucht hangen na afloop van de werkzaamheden)	Omwonenden	10	0,08				0,00044	0,075		0,00041
	4f. Door contact met stof dat zich heeft afgezet op verschillende oppervlakken in de nabijheid van het nieuwe spoor	Omwonenden	ademzone	0,08				0,00614	0,075		0,00575
	4g. Door transport van stof naar aanpalende percelen zoals perrons, reizigerstunnels etc. (E.e.a afhankelijk van de afstand van het depot tot de betreffende stationslocaties)	Reizigers NS personeel algemeen, we willen geen groepen vergeten.	100	0,001				0,0000003	0,001		0,0000003

In Tabel 28 is per blootstellingssituatie en per blootstellingsscenario voor een blootgestelde groep de blootstelling weergegeven. In de laatste kolom is het totaal per blootstellingssituatie opgenomen. In Tabel 15 in hoofdstuk 4 zijn de totaal resultaten per situatie opgenomen.

*Tabel 28. Tabel met de sommatie van de voor een blootstellingsgroep relevante blootstellingsscenario's per situatie.*

Blootgestelde groep	Situatie	Scenario 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Scenario 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Scenario 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Scenario 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Scenario 's totaal /situatie $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>Reizigers</b>						
	1	0.007	0,0004	0,008	0,005	0,020
	2	0,03	0,0004	0,008	0,005	0.038
	4	0,0000003				0,000
<b>Winkelend publiek (w.o. winkelpersoneel / personeel fietsenstalling)</b>						
	1	0,001				0,001
	2	0,001				0,001
<b>Omwonenden</b>						
	3	0,09	0,0004	0,005	0,005	0,096
	4	0,0001	0,0004	0,006		0,007
<b>Omstanders</b>						
	3	0,002				0,002
	4	0,00001				0,000

## Bijlage 3 Werkzaamheden representatief voor werkzaamheden in een tijdelijk tussen depot.

Twee benaderingen voor de emissie: van stof en kwarts vanuit een tijdelijk tussen depot:

1. Voor het reguliere werk zijn de waarden van blootstellingsmetingen gebruikt uit het TNO-onderzoek [7] die passen bij de werkzaamheden op een depot:

Tabel 29. Gebruikte brongegevens voor de berekening van de blootstelling door reguliere werkzaamheden.

#	Activiteit	Jaar	situatie#	ballastsoort	Inhaleerbaar stof mg/m <sup>3</sup>	respirabel stof (mg/m <sup>3</sup> )	respirabel kwarts (mg/m <sup>3</sup> )	Geschatte [respirabel kwarts] (40% respirabel stof) (mg/m <sup>3</sup> )	Te gebruiken [respirabel kwarts] (mg/m <sup>3</sup> )	Status ballast
1	Beladen vrachtwagens uit depot met shovel	2023	1	Bremanger	0,22	0,05	0,011	0,02	0,02	Nat
2	Beladen vrachtwagens uit depot met shovel	2023	1	Bremanger	0,28	0,03		0,01	0,01	Nat
3	Overslag vanuit vrachtwagens	2023	2	Bremanger	0,07	0,06	0,0039	0,02	0,02	Nat
4	Overslag vanuit vrachtwagens	2023	2	Bremanger	0,19	0,12		0,05	0,05	Nat
5	Ontgraven + lossen	2023	3	ballast uit tracé	1,4	0,07		0,03	0,03	Droog
6	Ontgraven + lossen	2023	3	ballast uit tracé	1,5	0,1	0,0074	0,04	0,04	Droog
7	Lossen, spreiden en nivelleren	2023	4 en 5	divers	0,61	0,08		0,03	0,03	Nat
8	Lossen, spreiden en nivelleren	2023	4 en 5	divers	0,45	0,14		0,06	0,06	Nat
9	Beladen vrachtwagens (oude ballast)	2023	18	ballast uit tracé	0,42	0,09	0,0067	0,04	0,04	Droog
10	Lossen oude ballast met vrachtwagens in depot	2023	16	ballast uit tracé	0,77	0,15	0,014	0,06	0,06	
11	Beladen vrachtwagens met shovel	2023	17		1,1	0,16	0,0098	0,06	0,06	
12	Lossen vrachtwagens/belading krol	2023	19	divers	0,12	0,03		0,01	0,01	Gewassen
13	Lossen vrachtwagens/belading krol	2023	26	padmateriaal	0,7	0,08		0,03	0,03	
14	Spreiden en nivelleren	2023	27	padmateriaal	0,49	0,1	<0,01	0,04	0,04	
15	Beladen vrachtwagens Quenast	2020	A	Quenast	1,6	0,19	0,014	0,08	0,08	
16	Lossen vrachtwagen depot Tiel	2020	E	Quenast	1,6	0,12	0,0055	0,05	0,05	Droog
17	Beladen ballastwagens	2020	F	Quenast	1,1	0,17	0,012	0,07	0,07	Droog
					Minimum	0,07	0,03		0,012	
					Maximum	1,6	0,19		0,076	
					95%	2,52	0,23		0,09	

De waarden van het 95-percentiel zijn gebruikt om de bronsterkte vast te stellen voor de modelberekeningen.

Tabel 30. Samenvatting van de brongegevens die zijn gebruikt voor het vaststellen van de bronsterkte t.b.v. modelberekeningen.

Metingen TNO (mg/m <sup>3</sup> )				
17 meetwaarden	Parameter	min	max	95%
mg/m <sup>3</sup>	inhaleerbaar stof   PM10	0,07	1,6	2,51
	respirabel stof   PM2.5	0,03	0,19	0,23
	respirabel kwarts	0,012	0,076	0,09
bronsterkte in mg/min (4,5 m/sec)	inhaleerbaar stof   PM10	2,75	60	92,5
	respirabel stof   PM2.5	1,1	7	8,3
	respirabel kwarts	0,44	2,8	3,32

De waarden voor inhaleerbaar stof is een benadering voor PM<sub>10</sub> en respirabel stof voor PM<sub>2.5</sub>.

Voor het gebruik van een borstelwagen zijn de waarden van de blootstellingsmetingen gebruikt uit het TNO-onderzoek [7] van een profileermachine met borstel.

Tabel 31. Brongegevens voor het vaststellen van de bronsterkte bij vegen van een depot.

Vegen (hoogste meetwaarden TNO = PROFILEERMACHINE)			
Parameter	gemeten concentratie (stationair) mg/m <sup>3</sup>	Te gebruiken concentratie mg/m <sup>3</sup>	bronsterkte mg/min (4,5 m/s)
inhaleerbaar stof   PM <sub>10</sub>	430	430	15750
respirabel stof   PM <sub>2.5</sub>	24	24	875
respirabel kwarts	3,2	9,6	355

Voor het vaststellen van de bronsterkte in de risicoberekeningen zijn de waarden gebruikt uit de kolom "Te gebruiken concentratie".

## Bijlage 4 Resultaten van de blootstellingsbepalingen voor reguliere werkzaamheden in een langdurig tussendepot.

### Blootstelling beoordeeld per dag.

In de volgende tabellen zijn de waarden weergegeven van voor 1 dag blootstelling aan de berekende concentratie fijnstof en inhaleerbaar kwartstof op 4 afstanden (10, 25, 50 en 100 meter).

De cellen zijn oranje gearceerd als de berekende blootstelling van het 95-percentiel ligt tussen de 10% en 100% van de grens- of advieswaarde. Rood gearceerde cellen zijn hoger of gelijk aan 100% van de grens- of advieswaarde.

Tabel 32. Resultaten van de berekende blootstelling voor 1 dag, op 4 afstanden van de ballasthoop door reguliere werkzaamheden, vergeleken met de Nederlandse grenswaarde en de WHO-advieswaarde voor fijnstof.

PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )			
Afstand (m)	P95%	GW NL (daggemiddelde) (50 µg/m <sup>3</sup> )	AW WHO (daggemiddelde) (15 µg/m <sup>3</sup> )
10	16,0	32%	107%
25	3,0	6%	20%
50	0,9	2%	6%
100	0,2	0%	1%
PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )			
Afstand (m)	P95%	GW NL (daggemiddelde) (20 µg/m <sup>3</sup> )	AW WHO (daggemiddelde) (5 µg/m <sup>3</sup> )
10	1,4	7%	28%
25	0,3	2%	6%
50	0,08	0%	2%
100	0,02	0%	0%
Kwartshoudende ballast 40% respirabel stof (µg/m <sup>3</sup> )			
Afstand (m)	P95%	GW NL (daggemiddelde) (0,12 µg/m <sup>3</sup> )	
10	0,56	467%	
25	0,12	100%	
50	0,032	27%	
100	0,008	7%	

Voor de regulier werkzaamheden wordt de WHO advieswaarde voor dagelijks blootstelling overschreden voor inhaleerbaar stof bij afstand tot 10 meter van de ballasthoop. Voor respirabel kwarts wordt de norm overschreden tot 25 meter tot de ballasthoop.

### Blootstelling beoordeeld per jaargemiddelde blootstelling.

In de volgende tabellen zijn de waarden weergegeven van voor de jaargemiddelde blootstelling aan de berekende concentratie fijnstof en inhaleerbaar kwartstof op 4 afstanden (10, 25, 50 en 100 meter) en voor vier perioden van cumulatieve blootstelling (in dagen).

De cellen zijn oranje gearceerd als de berekende blootstelling van het 95-percentiel ligt tussen de 10% en 100% van de grens- of advieswaarde. Rood gearceerde cellen zijn hoger of gelijk aan 100% van de grens- of advieswaarde.



Tabel 33. Resultaten van de berekende jaargemiddelde blootstelling voor vier verschillende perioden van blootstelling, op 4 afstanden van de ballasthoop door reguliere werkzaamheden, vergeleken met de Nederlandse grenswaarde en de WHO-advieswaarde voor PM<sub>10</sub>.

Inhaleerbaar stof   PM <sub>10</sub>				
Depot 90 dagen (3 maanden)		Blootstelling P <sub>95%</sub>		
Blootstellingsduur	Afstand (meter)	µg/m <sup>3</sup>	% GW NL (40 µg/m <sup>3</sup> )	% AW WHO (15 µg/m <sup>3</sup> )
15	10	16	1,64%	4,38%
	25	3	0,31%	0,82%
	50	0,9	0,09%	0,25%
	100	0,2	0,02%	0,05%
30	10	16	3,29%	8,77%
	25	3	0,62%	1,64%
	50	0,9	0,18%	0,49%
	100	0,2	0,04%	0,11%
60	10	16	6,58%	17,53%
	25	3	1,23%	3,29%
	50	0,9	0,37%	0,99%
	100	0,2	0,08%	0,22%
90	10	16	9,86%	26,30%
	25	3	1,85%	4,93%
	50	0,9	0,55%	1,48%
	100	0,2	0,12%	0,33%

Tabel 34. Resultaten van de berekende jaargemiddelde blootstelling voor vier verschillende perioden van blootstelling, op 4 afstanden van de ballasthoop door reguliere werkzaamheden, vergeleken met de Nederlandse grenswaarde en de WHO-advieswaarde voor PM<sub>2.5</sub>.

Respirabel stof   PM <sub>2.5</sub>				
Depot 90 dagen (3 maanden)		Blootstelling P <sub>95%</sub>		
Blootstellingsduur	Afstand (meter)	µg/m <sup>3</sup>	% GW NL (20 µg/m <sup>3</sup> )	% AW WHO (5 µg/m <sup>3</sup> )
15	10	1,4	0,29%	1,15%
	25	0,3	0,06%	0,25%
	50	0,08	0,02%	0,07%
	100	0,02	0,00%	0,02%
30	10	1,4	0,58%	2,30%
	25	0,3	0,12%	0,49%
	50	0,08	0,03%	0,13%
	100	0,02	0,01%	0,03%
60	10	1,4	1,15%	4,60%
	25	0,3	0,25%	0,99%
	50	0,08	0,07%	0,26%
	100	0,02	0,02%	0,07%
90	10	1,4	1,73%	6,90%
	25	0,3	0,37%	1,48%
	50	0,08	0,10%	0,39%
	100	0,02	0,02%	0,10%

Tabel 35. Resultaten van de berekende jaargemiddelde blootstelling voor vier verschillende perioden van blootstelling, op 4 afstanden van de ballasthoop door reguliere werkzaamheden, vergeleken met de grenswaarde voor respirabel kwarts.

Respirabel kwarts			
Depot 90 dagen (3 maanden)		Blootstelling P <sub>95%</sub>	
Blootstellingsduur	Afstand (meter)	µg/m <sup>3</sup>	% GW Vermont (0,12 µg/m <sup>3</sup> )
15	10	0,56	19,18%
	25	0,12	4,11%
	50	0,032	1,10%
	100	0,008	0,27%
30	10	0,56	38,36%
	25	0,12	8,22%
	50	0,032	2,19%
	100	0,008	0,55%
60	10	0,56	76,71%
	25	0,12	16,44%
	50	0,032	4,38%
	100	0,008	1,10%
90	10	0,56	115,07%
	25	0,12	24,66%
	50	0,032	6,58%
	100	0,008	1,64%

Uit de bovenstaande drie tabellen blijkt dat geen overschrijding van de jaargemiddelde waarden zal optreden voor PM<sub>10</sub> en PM<sub>2.5</sub>. Overschrijding is mogelijk bij langdurige blootstelling (alle dagen van het depot) aan respirabel kwarts op 10 meter van de ballasthoop.

## Bijlage 5 Resultaten van de blootstellingsbepalingen voor veeg werkzaamheden in een langdurig tussendepot.

### Blootstelling beoordeeld per dag.

In de onderstaande tabellen worden de resultaten van de berekeningen van de blootstelling, voor 4 gemiddelde afstanden tot de veegmachine weergegeven.

De cellen zijn oranje gearceerd als de berekende blootstelling ligt tussen de 10% en 100% van de grens- of advieswaarde. Rood gearceerde cellen zijn hoger of gelijk aan 100% van de grens- of advieswaarde.

Tabel 36. Blootstelling aan drie fijnstof parameters op 1 dag vergeleken met Nederlandse grenswaarden.

Vergelijken met Nederlandse GW (dagelijkse blootstelling)								
Vegen (bronwaarden)				$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
Vegen (hoogste meetwaarden TNO = PROFILEERMACHINE)	gemeten concentratie (stationair) $\text{mg}/\text{m}^3$	te gebruiken concentratie	bronsterkte $\text{mg}/\text{min}$	10 meter	25 meter	50 meter	100 meter	GW NL dag
inhalbaar stof   $\text{PM}_{10}$	430	430	15750	2720	518	148	40	50
respirabel stof   $\text{PM}_{2,5}$	24	24	875	151	28,8	8,2	2,3	20
respirabel kwarts	3,2	9,6	355	61,3	11,7	3,3	1	0,12

Als wordt geveegd blijkt de norm voor  $\text{PM}_{10}$  onder de Nederlandse grenswaarde te liggen als de afstand tot de woning 100 meter bedraagt. Voor respirabel kwarts is die afstand groter dan 100 meter.

Tabel 37. Blootstelling aan drie fijnstof parameters op 1 dag vergeleken met WHO advieswaarden.

Vergelijken met WHO AW (dagelijkse blootstelling)								
Vegen (bronwaarden)				$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
Vegen (hoogste meetwaarden TNO = PROFILEERMACHINE)	gemeten concentratie (stationair) $\text{mg}/\text{m}^3$	te gebruiken concentratie	bronsterkte $\text{mg}/\text{min}$	10 meter	25 meter	50 meter	100 meter	AW WHO / grenswaarde Vermont
inhalbaar stof   $\text{PM}_{10}$	430	430	15750	2720	518	148	40	15
respirabel stof   $\text{PM}_{2,5}$	24	24	875	151	28,8	8,2	2,3	5
respirabel kwarts	3,2	9,6	355	61,3	11,7	3,3	1	0,12

Als wordt geveegd blijkt de norm voor  $\text{PM}_{10}$  boven de WHO-advieswaarde te liggen tot meer dan 100 meter.

### Blootstelling beoordeeld per jaargemiddelde blootstelling.

In de volgende tabellen zijn de waarden weergegeven van voor de jaargemiddelde blootstelling aan de berekende concentratie fijnstof en inhalbaar kwartstof op 4 afstanden (10, 25, 50 en 100 meter) en voor vier aantallen van dagen vegen gedurende de periode dat het depot operationeel is.

De cellen zijn oranje gearceerd als de berekende blootstelling van het 95-percentiel ligt tussen de 10% en 100% van de grens- of advieswaarde. Rood gearceerde cellen zijn hoger of gelijk aan 100% van de grens- of advieswaarde.

Tabel 38. Resultaten van de berekende jaargemiddelde blootstelling voor vier verschillende aantallen dagen vegen, op 4 afstanden van de ballasthoop door reguliere werkzaamheden, vergeleken met de Nederlandse grenswaarde en de WHO-advieswaarde voor PM<sub>10</sub>.

Inhaleerbaar stof   PM <sub>10</sub>				
Depot 90 dagen (3 maanden)		Blootstelling (max)		
Blootstellingsduur (dagen vegen)	Afstand (meter)	µg/m <sup>3</sup>	% GW NL (40 µg/m <sup>3</sup> )	% AW WHO (15 µg/m <sup>3</sup> )
1	10	2720	18,6%	49,7%
	25	518	3,5%	9,5%
	50	148	1,0%	2,7%
	100	40	0,3%	0,7%
3	10	2720	55,9%	149,0%
	25	518	10,6%	28,4%
	50	148	3,0%	8,1%
	100	40	0,8%	2,2%
6	10	2720	111,8%	298,1%
	25	518	21,3%	56,8%
	50	148	6,1%	16,2%
	100	40	1,6%	4,4%
10	10	2720	186,3%	496,8%
	25	518	35,5%	94,6%
	50	148	10,1%	27,0%
	100	40	2,7%	7,3%

Als iedere maand wordt geveegd dan wordt de WHO-advieswaarde overschreden als dit binnen 10 meter van de woning gebeurt. Als iedere twee weken wordt geveegd op het depot wordt de jaargemiddelde Nederlandse grenswaarde en de WHO advieswaarde overschreden als dit binnen 10 meter van de woning gebeurt.

Tabel 39. Resultaten van de berekende jaargemiddelde blootstelling voor vier verschillende aantallen dagen vegen, op 4 afstanden van de ballasthoop door reguliere werkzaamheden, vergeleken met de Nederlandse grenswaarde en de WHO-advieswaarde voor PM<sub>2.5</sub>.

Respirabel stof   PM <sub>2.5</sub>				
Depot 90 dagen (3 maanden)		Blootstelling (max)		
Blootstellingsduur (dagen vegen)	Afstand (meter)	µg/m <sup>3</sup>	% GW NL (20 µg/m <sup>3</sup> )	% AW WHO (5 µg/m <sup>3</sup> )
1	10	151	1,0%	8,3%
	25	29	0,2%	1,6%
	50	8	0,1%	0,4%
	100	2	0,0%	0,1%
3	10	151	3,1%	24,8%
	25	29	0,6%	4,7%
	50	8	0,2%	1,3%
	100	2	0,0%	0,4%
6	10	151	6,2%	49,6%
	25	29	1,2%	9,5%
	50	8	0,3%	2,7%
	100	2	0,1%	0,8%
10	10	151	10,3%	82,7%
	25	29	2,0%	15,9%
	50	8	0,6%	4,5%
	100	2	0,2%	1,3%

Er worden geen jaargemiddelde normen overschreden voor PM<sub>2.5</sub> als wordt geveegd.

Tabel 40. Resultaten van de berekende jaargemiddelde blootstelling voor vier verschillende aantallen dagen vegen, op 4 afstanden van de ballasthoop door reguliere werkzaamheden, vergeleken met de Nederlandse grenswaarde voor respirabel kwarts.

Respirabel kwarts			
Depot 90 dagen (3 maanden)		Blootstelling (max)	
Blootstellingsduur (dagen vegen)	Afstand (meter)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	% GW Vermont (0,12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
1	10	61	140,0%
	25	12	26,7%
	50	3	7,5%
	100	1	2,3%
3	10	61	419,9%
	25	12	80,1%
	50	3	22,6%
	100	1	6,8%
6	10	61	839,7%
	25	12	160,3%
	50	3	45,2%
	100	1	13,7%
10	10	61	1399,5%
	25	12	267,1%
	50	3	75,3%
	100	1	22,8%

Als wordt geveegd wordt de jaargemiddelde grenswaarde voor respirabel kwarts overschreden bij 10 meter afstand bij 1-3 keer vegen, bij 25 meter afstand bij 6-10 keer vegen.