Circulair Economy & Environment
Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 42 56
F +31 88 866 44 75

TNO-rapport

TNO 2020 R11703

Onderzoek naar het vrijkomen van stof en schadelijke componenten tijdens handelingen met ballast

Datum	4 november 2020
Auteur(s)	Peter Tromp
Aantal pagina's	60 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	2
Opdrachtgever	ProRail
Projectnaam	Stofonderzoek ballast
Projectnummer	060.39579

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

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2020 TNO

Samenvatting

Inleiding en doelstelling

Bij het vervaardigen, transporteren en verwerken van ballast in het spoor ontstaat (kwarts)stof. Door de spoorbranche zijn collectieve maatregelen genomen om blootstelling aan kwartsstof zoveel mogelijk te beperken. Via diverse maatregelen wordt getracht stofvorming tijdens handelingen te verminderen en de werknemers te beschermen. Er is echter geen beleid dat zich richt op het aanpakken dan wel wegnemen van de gevaarbron: het type gesteente en het productieproces in de groeve. De spoorbranche voldoet hiermee niet aan de Arbeidsomstandighedenwet en het Arbeidsomstandighedenbesluit. ProRail heeft TNO gevraagd om een vergelijkend onderzoek uit te voeren naar de emissie van en blootstelling aan stof van verschillende typen gesteenten afkomstig van twaalf gecertificeerde steengroeven. Het algemene doel van dit onderzoek is om vast te stellen welke risico's verschillende gesteenten (groeves) hebben op de gezondheid van de verwerkers van ballast.

Uitvoering onderzoek

Om de betrouwbaarheid van de meetresultaten te kunnen garanderen zijn door TNO op de productielocaties en steengroeven zelf monsters van ballast type 1 (31,5 – 50mm) genomen, zodat de integriteit van het materiaal tijdens transport behouden bleef. Bij iedere locatie is tevens informatie opgevraagd betreffende petrografische eigenschappen (o.a. kwartspercentage) en hardheidskenmerken (o.a. Los Angeles en micro-Deval) van het ballastmateriaal om relaties te kunnen leggen met de gemeten stof- en kwartsconcentraties. Voor zover mogelijk is tevens een inspectie uitgevoerd van de wasinstallatie die het breekstof verwijdert.

Voor de vergelijkbaarheid van de meetresultaten zijn vervolgens onder geconditioneerde omstandigheden stofmetingen uitgevoerd tijdens het simuleren van activiteiten in een experimentele opstelling. Deze zogenoemde simulatietesten zijn in het laboratorium van TNO uitgevoerd, waarbij de impact van het storten (tijdens laden en lossen) is gesimuleerd. Om de meetresultaten van de simulatietesten van deze twaalf typen ballast te kunnen relateren aan de activiteiten en handelingen in de praktijk, zijn met het porfier gesteente uit Quenast additionele praktijkmetingen uitgevoerd tijdens 'transport' handelingen, vanaf de steengroeve tot aan het spoor in Geldermalsen. De hierbij bepaalde correlatie tussen de praktijk- en simulatiemetingen is vervolgens gebruikt om de stofemissie en blootstelling bij beladen, overslag en lossen voor de andere typen ballast af te leiden.

Tijdens de simulatietesten en transporthandelingen zijn metingen van inhaleerbaar stof en respirabel stof uitgevoerd. Ook is het stof verder onderzocht op schadelijke componenten, zoals respirabel kristallijn silica (kwarts, trydimiet, cristoballiet), vezelvormige bestanddelen (o.a. asbest en erioniet), nikkelhoudende mineralen (o.a. bunseniet en milleriet) en mica's.

Belangrijkste resultaten

Breekstof (fines)
Het op locatie wassen van de ballast kan het percentage breekstof drastisch reduceren. Van alle typen ballast, bemonsterd op de steengroeve (productielocatie), is het percentage 'fines' (fractie <63 µm) kleiner dan 0,4% en ligt daarmee onder de gestelde eis in de SPC00033 V005 (<0,5%). Er zijn wel onderlinge verschillen, die voor een belangrijk deel te maken hebben met het ontwerp van de wasinstallatie (o.a. aantal sproeiers) en de hoeveelheid waswater. Meer sproeiers en een hoger volume aan waswater hebben een duidelijk gunstig effect op de wassing en daarmee op het verlagen van het percentage breekstof. Het verlagen van het percentage breekstof zorgt ervoor dat tijdens handelingen met de ballast de emissie aan stof en respirabel kwarts (kristallijn silica) wordt gereduceerd. **Op basis van simulatiemetingen blijkt dat bij een halvering van het percentage 'fines' de emissie van inhaleerbaar- en respirabel stof en respirabel kwarts met een factor 2 afneemt. Praktijkmetingen bevestigen dit beeld, alhoewel de reductie iets lager wordt geschat (factor 1½ - 2).**

Type gesteente
Ook het type gesteente heeft een duidelijk effect op de stofemissie. In grote lijnen zijn de gesteenten in drie groepen in te delen: (1) kwartsiet, (2) kwarts(micro)dioriet, granietgneis en basaniet en (3) granodioriet en graniet. Bij de simulatie experimenten met kwartsiet wordt de laagste stofemissie gemeten en bij granodioriet en graniet de hoogste stofemissie. Als kanttekening moet worden vermeld dat granodioriet is getest als type 2 (22 - 40mm) gesteente, wat een negatieve invloed zou kunnen hebben op de stofontwikkeling. Binnen het kwartsiet gesteente is het gesteente uit Taben-Rodt duidelijk afwijkend; dit type gesteente produceert meer stof.

Alhoewel het type gesteente een effect heeft op de stofvorming is de invloed van de hardheid en slijtvastheid van het gesteente minimaal. Voor de inhaleerbare stoffractie is géén correlatie aangetoond met LA-waarden en micro-Deval waarden van de gesteenten. **Alleen voor de respirabele stoffractie is er een matige correlatie met de micro-Deval waarden van het ballastmateriaal. Bij de slijtvastere gesteenten lijkt de vorming van respirabel stof juist toe te nemen, wat betekent dat de slijtvastheid van het gesteente een tegengesteld effect heeft op de mate van stofvorming.**

Voor de meeste typen gesteenten is de emissie van respirabel kwarts (kristallijn silica) vergelijkbaar. Bij twee typen gesteenten wordt duidelijk meer respirabel kwarts geëmitteerd: dit zijn het granietgesteente uit Glensanda en het kwartsietgesteente uit Taben-Rodt. Uit de petrografische beschrijving van deze typen gesteente blijkt dat daar duidelijk meer kwarts in aanwezig is (≥70%) dan in de overige typen gesteenten (<55%), wat de hoge emissie aan respirabel kwarts grotendeels verklaart.

Schadelijke componenten
Uitgezonderd kristallijn silica zijn in géén van de gesteenten schadelijke componenten (zoals vezels en nikkelhoudend mineralen) aangetroffen. Bekend is dat de genoemde schadelijke componenten sporadisch als (micro)verontreiniging in de gesteenten kunnen voorkomen. Aangezien TNO per steengroeve op één moment één monster heeft geanalyseerd dient het resultaat als indicatief te worden beschouwd.

Handelingen in de praktijk
De gemeten concentraties aan inhaleerbaar- en respirabel stof en respirabel kwarts (kristallijn silica) tijdens de diverse transport handelingen met het porfiergesteente uit Quenast blijven ruim onder de meest strenge grenswaarden binnen Europa. Tijdens verdere handelingen met het ballast in het spoor (stopmachine en profileermachine) is wel een duidelijke verhoging te zien in de gemeten stof- en kwartsconcentraties, waarbij grenswaarden worden overschreden. Hierbij moet worden opgemerkt dat de metingen moeten worden beschouwd als ‘worst case’, omdat ze dicht op de kortdurende handelingen zijn uitgevoerd.

Verder blijkt uit de metingen dat iedere extra handeling (voornamelijk storten) ervoor zorgt dat er meer breekstof (fines) ontstaat. Voor het porfiergesteente uit Quenast blijkt dat per handeling het percentage ‘fines’ (fractie <63 µm) met ca. 0,1% toeneemt. Voorafgaand aan alle laad- en losactiviteiten van de ballast is het materiaal bevochtigd. Dit heeft een gunstig effect gehad op de emissie van stof en respirabel kwarts. **Door het bevochtigen van de ballast voorafgaand aan handelingen wordt de stofvorming met een factor 10 tot 100 gereduceerd.** Het is waarschijnlijk dat de hoge stofemissie tijdens de activiteiten met de stop- en profileermachine, mede is veroorzaakt door een lager vochtgehalte. Voorafgaand aan deze activiteiten is de ballast namelijk niet extra bevochtigd. Het is echter onduidelijk of het extra besproeien van de ballast zal resulteren in een dusdanige verlaging van de stofemissie dat grenswaarden niet meer worden overschreden.

Voor de gesteenten uit alle overige steengroeven zijn stof- en respirabel kwartsconcentraties afgeleid voor dezelfde ‘transport’ handelingen als het gesteente uit Quenast. **Op de groeves (productielocaties) zullen, tijdens het beladen van transportmiddelen, de gehaltes aan stof en respirabel kwarts voor de meeste gesteenten onder de meest strenge grenswaarden binnen Europa blijven. Alleen voor de gesteenten uit Glensanda, Jelsa en Taben-Rodt is het mogelijk dat grenswaarden voor inhaleerbaar stof en/of respirabel kwarts worden overschreden.**

Bij handelingen met de gesteenten uit Jelsa en Glensanda komt relatief veel inhaleerbaar stof vrij en zal de grenswaarde, ook tijdens de overige transporthandelingen, waarschijnlijk worden overschreden. Bij vrijwel alle praktijkhandelingen met het gesteente uit Taben-Rodt is het waarschijnlijk dat de grenswaarde voor respirabel kwarts zal worden overschreden. Bij het storten van de ballast in het spoor is het waarschijnlijk dat bij alle typen gesteente, met uitzondering van het kwartsiet gesteente uit Seljestokken, de grenswaarde voor inhaleerbaar stof zal worden overschreden.

Bronmaatregelen
Volgens de arbeidshygiënische strategie in de Arbowet is het belangrijk om eerst de gevaarbron (het type gesteente en het productieproces in de groeve) aan te pakken. ProRail voldoet deels aan deze verplichting door strenge eisen te stellen aan het percentage breekstof (fines). Vanuit het gezondheidsperspectief is het niet noodzakelijk om kwartshoudende gesteenten volledig uit te sluiten. Er dient wel te worden gewaarborgd dat blootstelling aan respirabel kwarts en stof tijdens handelingen (in de steengroeve) zoveel mogelijk wordt beperkt waarbij grenswaarden in géén geval mogen worden overschreden. Om volledig te voldoen aan de verplichtingen in de Arbowet, is het selecteren van gesteenten op basis van (kwarts)stof vormende eigenschappen gewenst. Hierbij dient ook rekening te worden gehouden met duurzaamheid- en veiligheidsaspecten conform de SPC00033 V005. Gezien het feit dat bij handelingen met de gesteenten uit Glensanda, Jelsa en Taben-Rodt vermoedelijk grenswaarden worden overschreden is uitsluiting van deze gesteenten voor toepassing als ballast in het spoor wenselijk.

Aanbevelingen

Om stofvorming te verminderen wordt aanbevolen om het percentage breekstof zo laag mogelijk te houden door middel van wassen op de productielocaties en het aantal handelingen tijdens transport te beperken. Daarnaast is het bevochtigen van het ballastmateriaal voorafgaand aan iedere handeling essentieel.

Op de meeste productielocaties zijn verbeteringen aan de wasinstallatie mogelijk om het percentage breekstof nog verder terug te brengen. TNO heeft hierbij alleen gekeken naar de technische haalbaarheid los van eventuele economische aspecten.

Voor een aantal gesteenten zullen grenswaarden voor stof en/of kwarts tijdens handelingen vermoedelijk worden overschreden: kwartsiet uit Taben-Rodt, graniet uit Glensanda en granodioriet uit Jelsa. In overeenstemming met de arbeidshygiënische strategie in de Arbowet wordt aanbevolen om als bronmaatregel deze typen gesteenten niet meer als ballast in het spoor toe te passen. Als aanvullende eis voor gecertificeerde steengroeven, zou een bovengrens aan het percentage kwarts kunnen worden ingesteld van 60%.

Om de observaties en conclusies uit dit onderzoek te bevestiging wordt aanbevolen om voor minstens één ander type gesteente de stofvorming tijdens transport (beladen, overlag en lossen) in kaart te brengen.

Gezien de grote stofemissie tijdens de activiteiten met de stop- en profileermachine wordt aanbevolen om het ballastbed in het spoor en de reserveballast in de machine voorafgaand aan het stabiliseren en profileren te besproeien/bevochtigen. Geadviseerd wordt om het effect van deze maatregel te onderzoeken met aanvullende stof- en kwartsmetingen.

Inhoudsopgave

Samenvatting **2**

1 Inleiding en doelstelling **7**

2 Plan van aanpak **8**

3 Uitvoering onderzoek **11**
3.1 Inspectie steengroeven en monsterneming ballast 11
3.2 Simulatiemetingen 13
3.3 Praktijkmetingen 15

4 Methoden **18**
4.1 Bepaling hoeveelheid breekstof 18
4.2 Continue stof metingen 18
4.3 Inhaleerbaar en respirabel stof 18
4.4 Respirabel kristallijn silica 19
4.5 Schadelijke bestanddelen met SEM/EDX 19

5 Beoordeling blootstelling en grenswaarden **20**
5.1 Inhaleerbaar en respirabel stof 20
5.2 Schadelijke componenten 22

6 Resultaten **23**
6.1 Inspectie steengroeven en karakterisatie ballast gesteenten 23
6.2 Simulatiemetingen 26
6.3 Praktijkmetingen tijdens handelingen met gesteente uit Quenast 41
6.4 Inzicht in stofemissie van andere typen gesteenten 48

7 Conclusies en aanbevelingen **51**
7.1 Breekstof (fines) 51
7.2 Type gesteente 51
7.3 Schadelijke componenten 52
7.4 Handelingen in de praktijk 52
7.5 Bronmaatregelen 53
7.6 Aanbevelingen 54

8 Referenties **55**

9 Ondertekening **56**

Bijlage A. Foto’s van de geteste typen gesteente **57**

Bijlage B. Foto’s wasinstallaties op de steengroeven **59**

1 Inleiding en doelstelling

Bij het vervaardigen, transporteren en verwerken van ballast in het spoor ontstaat stof. Uit meerdere metingen is vastgesteld dat zonder beschermingsmaatregelen bij bepaalde werkmethoden de wettelijke grenswaarde voor kwartsstof (75 µg/m^3) kan worden overschreden. Mitigerende maatregelen die de gezondheid van het personeel garanderen zijn meerdere malen vastgesteld (onderzoek ProRail 1993 en 1998, onderzoek SAS 2010 en onderzoek Swietelsky 2017-2018). Deze maatregelen worden echter niet altijd opgevolgd. Naar aanleiding van de hierboven genoemde problematiek inzake de stofvorming (kwartsstof) is er bij ProRail (AM Civiele Techniek) behoefte aan meer duidelijk over de stofvorming bij handelingen met ballast.

Door de spoorbranche zijn collectieve maatregelen genomen om blootstelling aan kwartsstof zoveel mogelijk te beperken. Via diverse maatregelen wordt getracht stofvorming te verminderen en de werknemers te beschermen. Er is echter geen beleid dat zich richt op het aanpakken dan wel wegnemen van de gevaarbron: het type gesteente en het productieproces in de groeve. De spoorbranche voldoet hiermee niet aan de Arbeidsomstandighedenwet en het Arbeidsomstandighedenbesluit (conclusie uit rapport 4Infra 080118). ProRail heeft TNO gevraagd om een vergelijkend onderzoek uit te voeren naar de emissie van en blootstelling aan stof met verschillende typen gesteenten afkomstig van de twaalf gecertificeerde steengroeven. Het gaat om drie situaties: het beladen van transportmiddelen op de steengroeve zelf, het overladen op andere transportmiddelen en het lossen van de ballast. Het project is vanuit AM Civiele Techniek begeleid door: systeemspecialist A. Kappers, systeemmanager Spoor C. Valkenburg en beleidsadviseur Veiligheid T. van Iersel.

Het algemene doel van dit onderzoek is om vast te stellen welke risico's verschillende gesteenten (groeves) hebben op de gezondheid voor de verwerkers van ballast.

Voor dit onderzoek zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

1. Er wordt onderscheid gemaakt in het originele ballast materiaal op de groeve zelf en de ballast dat na laden, transport, lossen en opslag door ProRail wordt verwerkt in het spoor. De handelingen en activiteiten met de ballast kunnen namelijk tot gevolg hebben dat het te verwerken materiaal meer stoffig is dan het originele materiaal op de steengroeve.
2. De blootstelling aan respirabel en inhaleerbaar stof tijdens het beladen, overladen en lossen in/uit de transportmiddelen (boot, trein of vrachtwagen) moet aanvaardbaar zijn. Dit betekent dat grenswaarden niet mogen worden overschreden voor respirabel en inhaleerbaar stof inclusief de eventueel aanwezige schadelijke (carcinogene/mutagene) componenten in dit stof.
3. In het kader van vergelijkbaarheid van meetresultaten dienen de metingen tijdens deze activiteiten op dezelfde wijze en onder dezelfde omstandigheden te worden uitgevoerd als de (eventuele) toekomstige metingen tijdens het toepassen van het ballastmateriaal op het spoortraject in Nederland.

2 Plan van aanpak

Voor vergelijkbaarheid van de meetresultaten dienen de emissie- en blootstelingsmetingen op de 12 steengroeven op dezelfde wijze en onder dezelfde omstandigheden te worden uitgevoerd, De onderstaande factoren hebben invloed op de emissie- en blootstelling van stof:

1. weersomstandigheden (neerslag, windrichting en -snelheid, luchtvochtigheid en temperatuur),
2. vochtigheid van het materiaal en
3. de exacte uitvoering van de activiteiten (o.a. transportmiddelen, storthoogte, hoeveelheid materiaal)

Aangezien de uitvoering van de activiteiten op locatie lastig zijn te standaardiseren en de weersomstandigheden en luchtvochtigheid van het materiaal altijd anders zullen zijn, is het praktisch gezien niet goed mogelijk om op elke steengroeve de metingen onder identieke omstandigheden uit te voeren. Dit maakt de interpretatie van de metingen zeer lastig, zo niet onmogelijk.

Om de betrouwbaarheid en vergelijkbaarheid van meetresultaten te kunnen garanderen worden stofmetingen uitgevoerd tijdens het simuleren van activiteiten in een experimentele opstelling onder geconditioneerde omstandigheden. Deze zogenoemde simulatietesten worden in het laboratorium van TNO uitgevoerd, waarbij de impact van het storten (bij laden en lossen) wordt gesimuleerd. De testen worden voor alle typen ballast op dezelfde manier en onder dezelfde omstandigheden uitgevoerd. Voorafgaand aan de testen wordt het ballastmateriaal eerst door TNO gewassen en gedroogd, om het resterende breekstof te verwijderen. Daarnaast worden ook enkele testen uitgevoerd met het originele materiaal (met hetzelfde percentage breekstof als op de steengroeve). Dit geeft inzicht in enerzijds de stofvormende eigenschappen van het materiaal zelf tijdens diverse activiteiten zoals storten en transport (1e test) en anderzijds in de stoffigheid van het materiaal inclusief breekstof op de steengroeve (2e test).

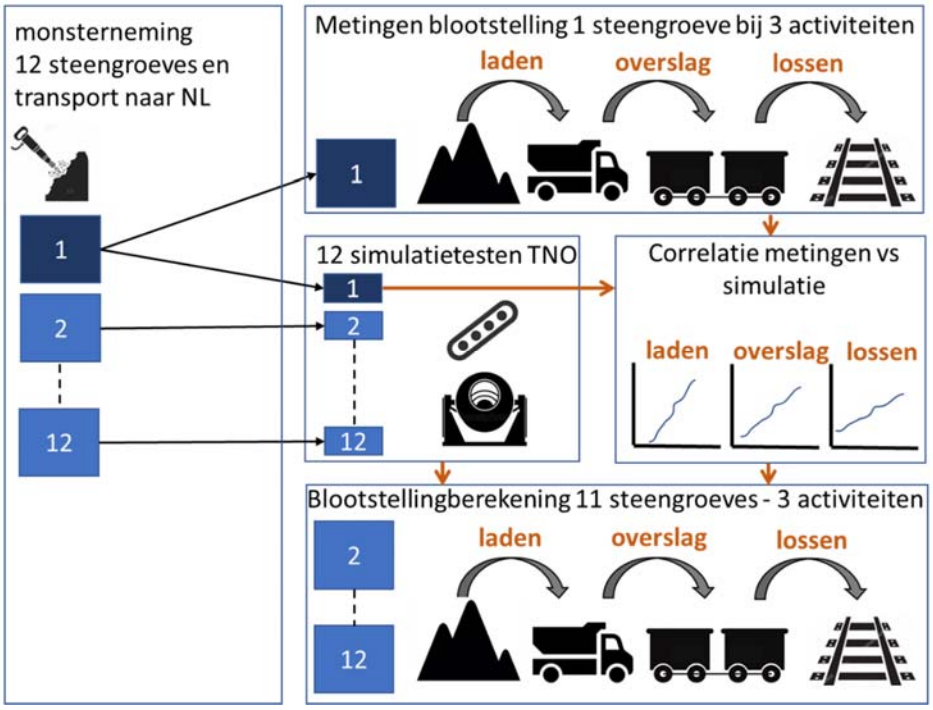
Gezien de gekozen aanpak, dient de ballast, gebruikt voor de simulatiemetingen, van dezelfde kwaliteit te zijn als de ballast op de steengroeven. Om te zorgen dat tijdens de monsterneming en het verdere transport naar TNO er geen extra breekstof ontstaat door schokken en wrijving, wordt de monsterneming volgens eenzelfde standaardprocedure uitgevoerd en worden de monsters op een speciale manier verpakt. De monsternemingsprocedure is zo ontwikkeld dat een zo representatief mogelijk monster van het aanwezige ballastmateriaal op de steengroeve wordt verkregen. Het is echter niet mogelijk om een monster uit een steengroeve te nemen dat representatief is voor de gehele steengroeve.

In een steengroeve bestaat geen éénduidige samenstelling van het gesteente op basis van exacte percentages. De mineralogische samenstelling verandert voortdurend tijdens het delven en het gesteente kan alleen in algemene (generieke) zin worden gekarakteriseerd op basis van bandbreedten in de mineralogische samenstelling op basis waarvan de steensoort wordt gedefinieerd.

Deze variabiliteit in mineralogische samenstelling kan ook invloed hebben op de hardheid en slijtvastheid van het gesteente en de hoeveelheid breekstof. Bij de evaluatie van de meetresultaten zal rekening worden gehouden met deze bandbreedte in mineralogische samenstelling.

Om de meetresultaten van de simulatietesten van deze 12 typen ballast te kunnen relateren aan de activiteiten en handelingen in de praktijk zullen met het ballastmateriaal afkomstig van één steengroeve additionele praktijkmetingen worden uitgevoerd tijdens het beladen van transportmiddelen op de steengroeve zelf, het overladen op andere transportmiddelen en het lossen van de ballast in Nederland.

De praktijkmetingen tijdens bovengenoemde activiteiten worden statisch uitgevoerd nabij het stortfront om een inzicht te krijgen in de maximale blootstelling (worst case). De omstandigheden tijdens de metingen zullen duidelijk worden vastgelegd zodat de meetresultaten in een later stadium kunnen worden vergeleken met de resultaten van eventuele toekomstige metingen tijdens het toepassen van het ballastmateriaal op het spoortraject in Nederland. De correlatie tussen de praktijkresultaten en simulatieresultaten bepaald met één type ballastmateriaal zal worden gebruikt om de stofemissie en blootstelling bij beladen, overslag en lossen voor de andere typen ballast te bepalen (zie Figuur 1).



Afbeelding 1. Schematische voorstelling plan van aanpak.

Gesteenten kunnen uit diverse mineralen bestaan met ieder hun eigen kristalvorm. Enkele van deze mineralen kunnen schadelijk zijn (o.a. carcinogeen/mutageen). Een belangrijk mineraal in gesteente is silica, oftewel siliciumdioxide (SiO_2). Silica kan voorkomen in amorfe vorm (onschadelijk) en kristallijne vorm (schadelijk). Kristallijn silica kent 3 vormen: cristoballiet, trydimiet en kwarts. In de volksmond wordt kristallijn silica vaak aangeduid als “kwarts” [1].

Het inhaleerbaar- en respirabel stof afkomstig van de simulatie- en praktijkmetingen wordt onderzocht op deze schadelijke componenten:

- respirabel kristallijn silica (kwarts, trydimiet, cristoballiet),
- vezelvormige bestanddelen zoals:
    - asbestiform serpentijn (chrysotiel),
    - asbestiform amfibool (crocidoliet, amosiet, tremoliet, anthofylliet, actinoliet),
    - erioniet (= vezelvormig zeoliet),
    - overige minerale vezelvormige bestanddelen
- nikkelhoudende mineralen zoals o.a. bunseniet (nikkeloxide) en milleriet (nikkelsulfide),
- mica’s [2]

Uitgezonderd van kristallijn silica komen de bovengenoemde schadelijke componenten sporadisch als (micro)verontreiniging in de gesteenten voor. Dat betekent dat het resultaat als indicatief moet worden beschouwd voor het ballastmateriaal op de steengroeve.

In het onderzoek zal specifiek rekening worden gehouden met microverontreinigingen waarvan bekend is dat ze in bepaalde typen gesteente kunnen voorkomen. Zo is bekend dat in graniet en granodioriet naast kristallijn silica (vooral kwarts) ook mica aanwezig kan zijn. In de omgeving van Nickenich in Duitsland is bekend dat naast kwarts ook trydimiet en cristoballiet kan voorkomen. In principe kunnen in alle steengroeven asbestiforme mineralen voorkomen. Het gaat dan vaak om sporadische kleine serpentijn/amfibool aders in het gesteente. Dit betekent dat er dus ook sproradisch asbest in het gesteente kan voorkomen. In bepaalde gebieden in Noorwegen (ook de gebieden waar de gecertificeerde steengroeven aanwezig zijn) kan actinoliet en anthofylliet voorkomen. In de steengroeven in België is bekend dat daar actinoliet kan voorkomen in het porfier gesteente.

[1] Wanneer in het rapport gesproken wordt over kwarts en respirabel kwarts wordt altijd de kristallijne (schadelijke) vorm bedoeld.
[2] Mica’s zijn niet bewezen carcinogeen/mutageen, maar worden wel als meer schadelijk gezien dan algemeen hinderlijk respirabel/inhaleerbaar stof en kennen daarom vaak ook lagere grenswaarden.

3 Uitvoering onderzoek

3.1 Inspectie steengroeven en monsterneming ballast

Voorafgaand aan de monsterneming is contact gezocht met de steengroeven, waarbij door TNO een korte toelichting is gegeven van het onderzoek, toestemming is gevraagd om monsters te nemen van het ballastmateriaal en een datum is afgesproken van het bezoek. Ook is informatie gevraagd over de geometrische, fysische, chemische en duurzaamheidskernmerken van het materiaal conform NEN-EN 13450, waarbij is aangegeven dat vooral informatie over de hardheid van het materiaal (Los Angeles, micro-Deval, etc.) essentieel kan zijn voor het onderzoek.

Bij ieder bezoek is specifiek gevraagd om het ballastmateriaal type 1 (31.5 - 50 mm) dat aan ProRail wordt geleverd volgens SPC00033 V005 (product specificatie steenslag ten behoeve van ballast). Om inzicht te krijgen in het breekproces op de steengroeven is tevens om een korte rondleiding gevraagd. Hierbij is, voor zover mogelijk, de plek bezocht waar het gesteente wordt gewonnen en is een inspectie uitgevoerd van de breek-, sorteer-, sproei- en wasinstallatie. Deze laatste installaties worden gebruikt om stofvorming in het productieproces tegen te gaan en het percentage breekstof in de ballast te verminderen.

De monsterneming is uitgevoerd door medewerkers van de steengroeve onder begeleiding van TNO volgens de basisprincipes in de NEN 5897 (Inspectie en monsterneming van asbest in bouw- en sloopafval en recyclinggranulaat), waardoor een zo representatief mogelijk monster wordt verkregen van het ballastmateriaal aanwezig op locatie. In totaal is per steengroeve minimaal 100 kg aan ballastmateriaal verzameld, bestaande uit 3 deelmonsters van ca. 30 - 40 kg. Deze deelmonsters zijn uit verschillende delen van het opslagdepot of op verschillende momenten vanaf de transportband genomen. Bij depotbemonstering is telkens met behulp van shovels eerst de buitenste schil weggenomen om een monster dieper in de kern te kunnen nemen. Hierdoor wordt voorkomen dat externe factoren (o.a. weersinvloeden, stofoverlast van andere activiteiten op het terrein) tijdens opslag invloed hebben gehad op de kwaliteit van het monster. Om ervoor te zorgen dat de integriteit van de monsters tijdens het transport naar Nederland niet wordt aangetast, is de ballast verzameld in plastic bakken aan de binnenzijde voorzien van schuimrubber matten. De bakken zijn volledig opgevuld zodat de stenen niet kunnen bewegen. Daarnaast zijn de bakken in de transport bus op schuimrubber matten geplaatst om trillingen en schokken tijdens transport zoveel mogelijk te voorkomen.

De door TNO bezochte steengroeven en verwerkingsbedrijven staan weergegeven in Tabel 1. Van de in totaal 12 gecertificeerde steengroeven bleek van één steengroeve (Natursteinwerke Weiland Gmbh, Schwarzkolmm) het certificaat reeds te zijn ingetrokken. Deze steengroeve maakt daarom geen onderdeel meer uit van het onderzoek. De steengroeve Jelsa in Noorwegen produceert geen type 1 ballast meer, waardoor, in overleg met ProRail, type 2 ballast (20 – 40mm) is bemonsterd.

Tabel 1. Gegevens ballast en monsterneming van de gecertificeerde steengroeven

TNO code	Naam certificaathouder	Wingebied	Ballast materiaal	Datum bezoek	Monster-neming	Behandeling ballast
1 [1)]	Oster Pukk og Sand AS	Eikefet, Noorwegen	Granietgneis	16-9-2019	Type 1 uit depot in steengroeve	Ongewassen
2 [1)]	Norwegian Sandstone Export AS	Seljestokken Svelgen, Noorwegen	Kwartsiet	17-9-2019	Type 1 uit depot in steengroeve	Ongewassen
3 [1)]	Mibau Nederland B.V.	Tau, Noorwegen	Kwartsdioriet	19-9-2019	Type 1 uit depot In Amsterdam	Ongewassen
13 [7)]				4-11-2019		Gewassen
4 [1,2)]	Mibau Nederland B.V.	Jelsa, Noorwegen	Granodioriet	20-9-2019	Type 2 uit depot in steengroeve	Ongewassen
5 [3)]	Graniet Import Benelux B.V.	Bremanger, Noorwegen	Bestone (kwartsiet)	23-9-2019	Type 1 uit depot In Amsterdam	Gewassen
6 [3,4)]	Graniet Import Benelux B.V.	Glensanda, Schotland	Graniet	23-9-2019	Type 1 uit depot in Amsterdam	Ongewassen
7 [5)]	Johann Düro GmbH & Co.KG	Taben-Rodt, Duitsland	Kwartsiet	7-10-2019	Type 1 uit depot in steengroeve	Gewassen
8 [6,8)]	Rheinische Provinzial Basalt- und Lavawerke GmbH & Co.oHG	Werk Nickenich, Duitsland	Basaniet	7-10-2109	Type 1 vanaf transportband in steengroeve	Ongewassen
9	Carrières Unies de Porphyre	Lessines, België	Porfier	31-10-2019	Type 1 vanaf transportband in steengroeve	Gewassen
10	Sagrex - Aggregates Activity of CBR	Quenast, België	Porfier	31-10-2019	Type 1 vanaf transportband in steengroeve	Gewassen
12 [7)]						Ongewassen
11 [5,7)]	Société d`Exploitation des Carrières d`Yvoir	Yvoir, België	Kwartsiet	31-10-2019	Type 1 uit depot in steengroeve	Gewassen

Opmerkingen bij Tabel 1:

1. Geen gewassen ballast beschikbaar, dit gesteente wordt pas gewassen bij het inladen op het schip
2. Type 2 gesteente (20-40mm)
3. De ballast komt als grof gesteente uit het wingebied en wordt in Amsterdam gebroken, gezeefd en gewassen.
4. Dit gesteente wordt niet gebruikt als ballastmateriaal voor ProRail (alleen als reserve), er was geen gewassen voorraad voorhanden.
5. Deze groeven leveren nauwelijks aan ProRail, dit waren oude voorraden uit depot.
6. Dit ballastmateriaal is bemonsterd direct na breken en de eerste zeving.
7. Dit ballastmateriaal is bemonsterd vanuit een tussentijds depot in Amsterdam, na transport met schip vanuit Tau.
8. Deze groeven waren tijdelijk gesloten waardoor een inspectie van de procesinstallatie niet mogelijk was.

3.2 Simulatiemetingen

Aangezien niet op alle steengroeven gewassen ballast kon worden bemonsterd, zijn de simulatietesten in eerste instantie alleen uitgevoerd op het door TNO gewassen ballastmateriaal. Voorafgaand aan de simulatietesten zijn de gewassen en gedroogde deelmonsters gedurende minimaal 1 week geconditioneerd in de testruimte bij dezelfde temperatuur tot constant eindgewicht.

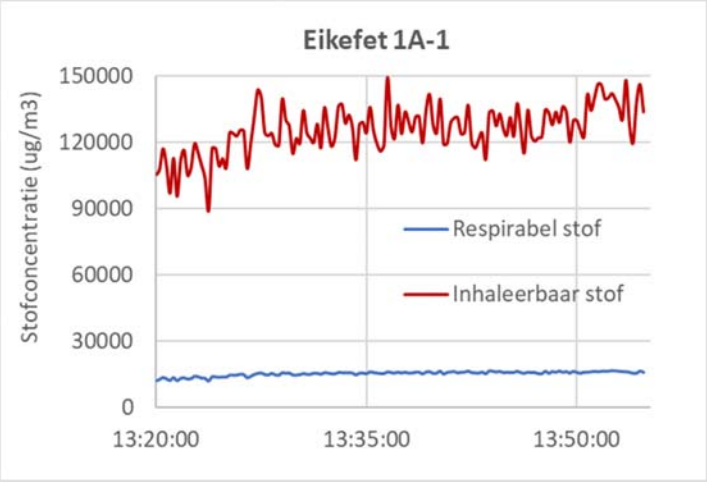
Voor het simuleren van de handelingen met ballastmateriaal is gebruik gemaakt van een betonmolen die aan de binnenkant volledig bekleed is met een rubber mat (Afbeelding 2). Dit is gedaan om te voorkomen dat het contact tussen het gesteente en de metalen binnenkant van de molen een rol gaat spelen in de testuitkomst. Dit betekent dat met de door TNO ontwikkelde test alleen de stofvorming wordt beoordeeld veroorzaakt door het contact tussen de stenen onderling. Om de simulatie zo dicht mogelijk aan te laten sluiten op de praktijk, is de hoek van de betonmolen zo ingesteld dat de stenen eerst een valbeweging maken waarna ze over elkaar rollen. Na iedere test is de binnenkant van de betonmolen volledig schoon gezogen met een stofzuiger. De testen zijn uitgevoerd met 20,0 kg aan ballastmateriaal gedurende 10 minuten. In de test is een stabilisatieperiode ingebouwd van 5 minuten, waarna de metingen zijn gestart.

Gedurende de simulatietesten zijn de onderstaande metingen verricht:

1. Monsterneming inhaleerbaar stof voor gravimetrische bepaling
2. Monsterneming respirabel stof, voor gravimetrische bepaling en analyse respirabel kristallijn silica
3. Monsterneming totaal stof, voor elektronenmicroscopische analyse
4. Continue deeltjesmetingen (0,5 – 20µm) met een optische deeltjesteller

Afbeelding 2. Testopstelling voor de simulatie experimenten met de monsters ballast; de metingen bestaan uit inhaleerbaar stof, respirabel stof, respirabel kwarts, totaal stof voor elektronenmicroscopische analyse en continue deeltjesmetingen (0,5 – 20µm) met een optische deeltjesteller.

Voorafgaand aan de metingen is de experimentele opstelling getest door gedurende een langere periode de betonmolen te laten draaien en het verloop van de stofemissie in de tijd te meten met behulp van een optische deeltjesteller. In Afbeelding 3 is het resultaat van deze zogenaamde robuustheidstest gegeven voor deelmonster 1A afkomstig van Eikefet. Hieruit blijkt dat de variantie in de inhaleerbaar en respirabel stofconcentratie over de gehele testduur ca. 10% is.



Afbeelding 3. Voorbeeld van het verloop van de concentratie aan inhaleerbaar en respirabel stof gedurende de simulatietest met behulp van de betonmolen.

Om te kunnen beoordelen in hoeverre de verschillen in testresultaten tussen de diverse steengroeven significant zijn, zijn van een viertal steengroeven (Eikefet, Bremanger, Quenast en Yvoir) meerdere deelmonsters getest. De berekende variantie van deze duplo en triplo monsters is gebruikt bij de evaluatie van de testresultaten. Om inzicht te krijgen in het effect van het wassen van het ballastmateriaal is van een tweetal steengroeven (Quenast en Tau) het ongewassen ballastmateriaal, zonder een extra wassing door TNO, ook getest. De resultaten van de ongewassen ballast zijn vergeleken met de resultaten van het door TNO gewassen ballastmateriaal. In Tabel 2 is een overzicht gegeven van de uitgevoerde simulatiemetingen.

Tabel 2. Overzicht van het aantal uitgevoerde simulatietesten

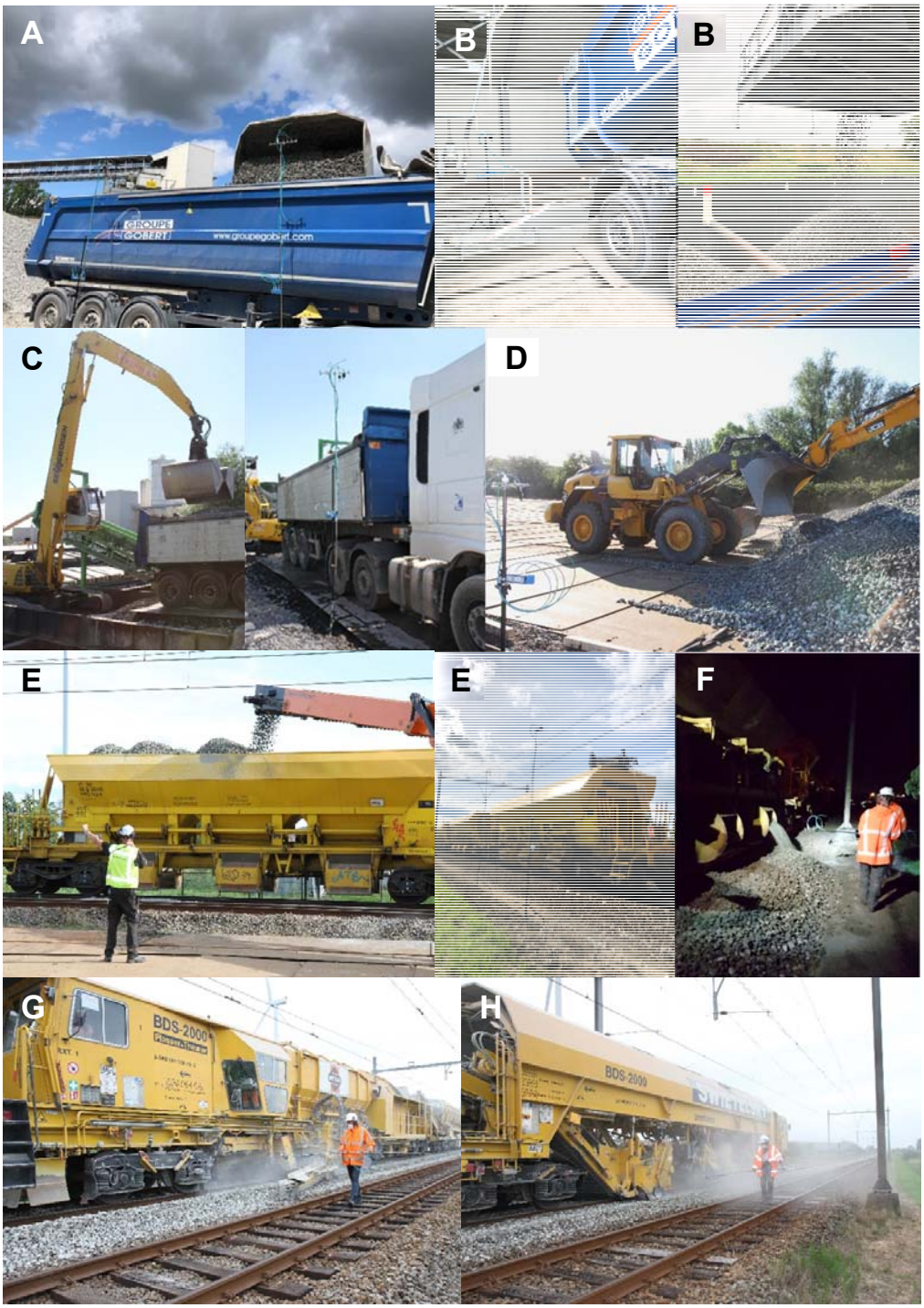
TNO code	Wingebied	Product	Gewassen door TNO?	Aantal testen
1	Eikefet	Granietgneis	Ja	3
2	Seljestokken	Kwartsiet	Ja	1
3	Tau	Kwartsdioriet	Ja	1
13	Tau	Kwartsdioriet	Ja	1
13	Tau	Kwartsdioriet	Nee	1
4	Jelsa	Granodioriet	Ja	1
5	Bremanger	Bestone (kwartsiet)	Ja	2
6	Glensanda	Graniet	Ja	1
7	Taben-Rodt,	Kwartsiet	Ja	1
8	Werk Nickenich	Basaniet	Ja	1
9	Lessines	Porfier	Ja	1
10	Quenast	Porfier	Ja	2
12	Quenast	Porfier	Nee	1
11	Yvoir	Kwartsiet	Ja	2

3.3 Praktijkmetingen

De praktijkmetingen zijn uitgevoerd in de periode 10 - 14 juli 2020, tijdens diverse activiteiten met het porfier (kwartsmicrodioriet) gesteente afkomstig van de steengroeve Quenast. In Tabel 3 is een overzicht gegeven van de activiteiten, de metingen en meetcondities. Alle handelingen met het ballastmateriaal vanaf de steengroeve in Quenast tot en met het spoortraject in Geldermalsen zijn in duplo bemeten. Om inzicht te krijgen in de maximale blootstelling (worst case) is steeds benedenwinds en zo dicht mogelijk op het stortfront gemeten. Hierbij is wel steeds het geldende veiligheidsregime in acht genomen. In afbeelding 4 is per meetsessie een foto weergegeven als illustratie van de activiteiten en meetomstandigheden.

Tabel 3. Overzicht praktijkmetingen en condities tijdens diverse activiteiten met het ballastmateriaal afkomstig uit Quenast

Activiteit / handeling	**Locatie**	**Beschrijving meting**	**Datum en tijdstip**	**Duur meting** (min)	**Weer**	**Temp, RH wind**
Beladen vrachtwagens vanuit depot	Quenast	Weerszijden achter laadbak vrachtwagen	10 juli 2020 12:51-14:53	122	Droog en zonnig	20°C, 60%, 2 m/s
Lossen vrachtwagens op lopende band	Tubeke	Weerszijden van stortfront vrachtwagens	10 juli 2020 07:03-10:43	220	Half bewolkt (ca. 30 min motregen)	15°C, 80%, 2m/s
Beladen schip vanuit lopende band	Tubeke	Boven stortfront schip	10 juli 2020 07:01-10:32	211	Half bewolkt (ca. 30 min motregen)	15°C, 80%, 2m/s
Lossen schip in vrachtwagen	Tiel	Weerszijden achter laadbak vrachtwagens	13 juli 2020 11:58-13:54	116	Droog en zonnig	21°C, 60%, 2 m/s
Lossen vrachtwagens op depot	Tiel	Weerszijden van stortfront vrachtwagens	13 juli 2020 08:09-10:17	68	Droog en zonnig	18°C, 60%, 2 m/s
Beladen wagons vanuit depot met lopende band	Geldermalsen	Weerszijden achter ballastwagons	12 juli 2020 18:03-20:39	156	Droog en zonnig	20°C, 60%, 2 m/s
Storten ballast vanuit wagons in het spoor	Geldermalsen	Lopend naast ballastwagons	13 juli 2020 01:12-01:57	45	Droog (’s nachts)	15°C, 70%, 2 m/s
Stopmachine	Geldermalsen	Lopend naast machine	14 juli 2020 09:34-10:04	30	Droog en bewolkt	13°C, 80%, 2 m/s
Profileermachine	Geldermalsen	Lopend naast machine	14 juli 2020 10:11-10:29	18	Droog en bewolkt	13°C, 80%, 2 m/s



Afbeelding 4. Overzicht van de 9 praktijkmetingen uitgevoerd in de periode 10 – 14 juli 2020: op de steengroeve in Quenast (A), lossen vrachtwagen en beladen schip in Tubeke (B), lossen schip in Tiel (C), lossen vrachtwagens op depot in Tiel (D), beladen ballastwagons in Geldermalsen (E), storten vanuit wagons in het spoor in Geldermalsen (F), bij de stopmachine (G) en profileermachine (H) in Geldermalsen.

4 Methoden

4.1 Bepaling hoeveelheid breekstof

De hoeveelheid breekstof in het gesteente is bepaald met behulp van een natte wassing conform NEN-EN 933-1 [Beproevingsmethoden voor geometrische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 1: Bepaling van de korrelgrootteverdeling – Zeefmethode]. Hierbij zijn de fracties <63 µm, 63 – 1000 µm, 1 – 10 mm en > 10 mm bepaald.

4.2 Continue stof metingen

Continue stof metingen zijn uitgevoerd met de ECM190 Environmental Dust Monitor van de firma GRIMM. Met deze geavanceerde monitor worden deeltjes vanaf ca. 0,25 µm gemeten door middel van een orthogonale (90°) lichtverstrooiingstechniek, waarbij de deeltjestellingen worden omgezet in een massa-grootteverdeling waaruit de inhaleerbare en respirabele fractie kan worden afgeleid in µg/m^3. De tijdsresolutie is ingesteld op 10 seconde met een meetbereik van 0,25 - 32 µm in 31 deeltjesgrootte fracties.

4.3 Inhaleerbaar en respirabel stof

Inhaleerbaar stof is bemonsterd op teflon filters met behulp van “IOM” samplers en respirabel stof is bemonsterd op PVC filters met behulp van “Higgins-Dewell” cyclonen. De concentratie aan inhaleerbaar stof en respirabel stof is bepaald met behulp van gravimetrische analyse volgens NEN-EN 12341 [Luchtkwaliteit - Algemene gravimetrische referentiemethode voor de bepaling van de PM10 of PM2,5-massafractie van zwevende stof in de buitenlucht]. De PVC filters en teflonfilters werden gewogen voor en na bemonstering met een microbalans (± 1µg) tot constant gewicht in een geconditioneerde kamer (50% relatieve vochtigheid, 20° C).

De “IOM” samplers en “Higgins-Dewell” cyclonen voldoen aan de definities voor inhaleerbaar en respirabel stof conform NEN-EN 481 [Werkplekatmosfeer - Definitie van de deeltjesgrootteverdeling voor het meten van de in de lucht zwevende deeltjes]:

- de respirabele fractie van de in de lucht zwevende deeltjes is gedefinieerd als de massafractie van ingeademde deeltjes die doordringen tot de niet-gevulde luchtwegen (longblaasjes). Voor de inadembare fractie wordt een penetratie-efficiëntie van 50% bereikt voor deeltjes met een aerodynamische afmeting van 4 µm.
- de inhaleerbare fractie van de in de lucht zwevende deeltjes is gedefinieerd als de massafractie van de totale in de lucht zwevende deeltjes die via de neus of mond kunnen worden ingeademd. Alle deeltjes met een aerodynamische afmeting tussen 40 en 100 µm hebben een penetratie-efficiëntie van ongeveer 50%.

4.4 Respirabel kristallijn silica

Kristallijn silica (SiO_2) is bepaald met behulp van infrarood spectrometrie (FTIR) conform NIOSH 7602 [NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Silica, Crystalline by IR: Method 7602, Issue 2, 1994]. Met deze methode wordt specifiek kristalijn silica bepaald en wordt onderscheid gemaakt in de kristallijne vormen kwarts en cristoballiet.

4.5 Schadelijke bestanddelen met SEM/EDX

Ten behoeve van het onderzoek met behulp van elektronenmicroscopie in combinatie met Röntgen microanalyse (SEM-EDX) is totaal stof bemonsterd op nikkel gecoate Nuclepore filters (poriegrootte 0,4 µm). De analyses zijn uitgevoerd met een Tescan MAIA 3 GMH FEG-SEM hoge resolutie scanning-elektronenmicroscoop in combinatie met Bruker AXS spectrometer met een Quantax 800 werkstation en een XFlash 6130 detector.

Met behulp van Röntgen microanalyse is de gemiddelde elementsamenstelling bepaald van het inhaleerbaar stof. Hierbij is de concentratie aan elementen, uitgedrukt in de oxidevorm, weergegeven als massapercentages. De concentratie aan vezelvormige minerale bestanddelen (waaronder asbestiforme mineralen en erioniet) is bepaald met behulp van SEM-EDX conform NEN-ISO 14966 [Buitenlucht - Bepaling van de numerieke concentratie van anorganische vezelachtige deeltjes - Scanning elektronenmicroscoop methode]. Tijdens deze analyse is het filter ook gescreend op de aanwezigheid van mica’s aan de hand van morfologische kenmerken, o.a. plaatvormige structuur. Daarnaast is het filter in de backscattered mode (BSE) onderzocht op nikkelhoudende mineralen en andere metaal bevattende mineralen. Met de BSE detector is het mogelijk om onderscheid te maken in verschillende typen deeltjes op grond van het gemiddeld atoomnummer; zo zijn metaaldeeltjes goed te onderscheiden van silicaatdeeltjes.

5 Beoordeling blootstelling en grenswaarden

Met betrekking tot de praktijkmetingen op locatie is bij de beoordeling van de stofemissies en blootstelling gebruik gemaakt van de principes in de NEN-EN 689 [Werkplekatmosfeer - Leidraad voor de beoordeling van de blootstelling bij inademing van chemische stoffen voor de vergelijking met de grenswaarden en de meetstrategie]. Twee verschillende meetstrategieën kunnen hierbij worden toegepast:

1. Een representatieve (realistische) inschatting op basis van meerdere meetcampagnes uitgevoerd in verschillende tijdsperioden rekening houdend met de belangrijkste factoren die de blootstelling beïnvloeden.
2. Een worst case-beoordeling op basis van één meetcampagne die is uitgevoerd onder de slechtste omstandigheden met betrekking tot alle factoren die de werkelijke blootstelling beïnvloeden.

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van een worst case benadering op basis van één duplo meting zo dicht mogelijk bij de diverse handelingen bij droog en veelal zonnig weer. Overige omstandigheden, zoals de uitvoering van de laad- en losactiviteiten en het bevochtigen van het materiaal zijn realistisch gekozen en representatief voor een normale projectuitvoering.

Bij een representatieve beoordeling wordt op basis van een statistische interpretatie van de resultaten de kans op overschrijding ingeschat. In die gevallen wordt een "veiligheidsfactor" van 0,1 gebruikt, wat betekent dat getoetst wordt aan 10% van de grenswaarde. Bij een worst case benadering kunnen grenswaarden direct worden vergeleken met grenswaarden (zonder veiligheidsfactor) omdat alle factoren die van invloed zijn op de blootstelling als worst case zijn gekozen. De gepresenteerde resultaten zijn echter alleen toepasbaar op een normale uitvoering van de activiteiten waarbij het ballastmateriaal voorafgaand aan de handelingen wordt bevochtigd. Bij toetsing worden de onderstaande grenswaarden gehanteerd.

5.1 Inhaleerbaar en respirabel stof

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

Tabel 4. Grenswaarden voor inhaleerbaar en respirabel stof in Duitsland

Stof (mg/m^3)	AGS [1)]		DFG [2)]	
	8 uur TGG	15 min TGG	8 uur TGG	15 min TGG
Inhaleerbaar stof	10	20	4 [4)]	
Respirabel stof	1,25 [5)]	10	0,3 [3)]	2,4 [3)]

Opmerkingen bij Tabel 3:

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

De door DFG gedefinieerde grenswaarde voor respirabel stof (0,3 mg/m^3) geldt voor bio persistent korrelig stof. Deze grenswaarde gaat uit van een dichtheid van 1 g/cm^3 en is van toepassing op langdurige blootstelling. Bij omrekening naar een dichtheid van de ballast (ca. 2,8 g/cm^3) zal de grenswaarde uitkomen op ca. 0,8 g/cm^3; het is echter niet duidelijk of deze grenswaarde toepasbaar is voor stof afkomstig van ballast gesteente. Deze waarde heeft geen wettelijke status maar is wel aanleiding geweest om de grenswaarde van AGS voor respirabel stof te verlagen naar 1,25 mg/cm^3. Door het Duitse Ministerie van SZW is deze verlaagde waarde vervolgens opgenomen in de TRGS900 grenswaardelijst en als zodanig opgenomen in de Duitse wet- en regelgeving. De grenswaarden van AGS zijn momenteel ook de meest gebruikte waarden binnen de EU.

In 2013 werden de geldende grenswaarden in Groot Brittannië, van 10 mg/m^3 voor inhaleerbaar stof en 4 mg/m^3 voor respirabel stof, flink ter discussie gesteld (Cherrie et. al, 2013). Op basis van epidemiologisch en toxicologisch onderzoek komt het IOM (Institute of Occupational Medicin) tot een advies van 5 mg/m^3 voor inhaleerbaar stof en 1 mg/m^3 voor respirabel stof. Deze waarden zijn echter niet opgenomen in de wet- en regelgeving.

Voor onderhavige studie zal worden getoetst aan 4 mg/m^3 voor inhaleerbaar stof en 1,25 mg/m^3 voor respirabel stof.

5.2 Schadelijke componenten

Voor toetsing van de concentraties aan schadelijke componenten in het stof worden de volgende grenswaarden gebruikt:

- kristallijn silica (waaronder kwarts, trydimiet en cristoballiet): 0,075 mg/m^3 (respirabele fractie)
- mica's: in Nederland geen grenswaarde, in meerdere Europese landen ca. 3 mg/m^3 (respirabele fractie) [3]
- asbest: 2000 vezels/m^3 (respirabele vezels)

[3] In de Europese landen met een grenswaarde voor mica is deze vaak hetzelfde als voor respirabel stof.

6 Resultaten

6.1 Inspectie steengroeven en karakterisatie ballast gesteenten

6.1.1 Wasinstallaties

In Tabel 5 is per steengroeve (productie locatie) een beschrijving gegeven van de wasinstallatie. Op iedere locatie bestaat de wasinstallatie uit een zeef/tril-bak met daarboven een stelsel van meerdere buizen waarop sproeiers (spuitmonden) zijn gemonteerd. De grootte van de bak en het aantal buizen en sproeiers is per locatie anders (zie Bijlage B). Op drie locaties (Eikefet, Werk Nickenich en Yvoir) was geen nadere inspectie van de wasinstallatie mogelijk en op twee locaties (Seljestokken, Taben-Rodt) was de wasinstallatie niet operationeel. Op de locaties Amsterdam, Tau, Jelsa, Quenast en Lessines was de wasinstallatie wel operationeel. Hierbij is geconstateerd dat op de locatie Amsterdam, Tau en Jelsa één of meerdere sproeiers niet functioneerden. Voor de effectiviteit van de wasinstallatie is naast een goed werkend systeem (aantal buizen en sproeiers) ook de doorvoer aan ballast (kg/uur) en hoeveelheid water (liter/uur) belangrijk; daarover is geen informatie beschikbaar.

Tabel 5. Beschrijving wasinstallatie per steengroeve (verwerkingslocatie)

Steengroeve	**Wasinstallatie(s)**	**Sproeiers**
Eikefet	2 wassers, nadere inspectie niet mogelijk	-
Seljestokken	1 wasser met 3 buizen x ca 4 sproeiers	12
Tau	1 wasser met 5 buizen x 11 sproeiers	55
Jelsa	1 wasser met 5 buizen x 4 sproeiers	20
Bremanger	Productie ballast in Amsterdam: 1 wasser met 5 buizen x 5 sproeiers (4 sproeiers waren kapot)	25 (21)
Glensanda		
Taben-Rodt,	1 wasser met 6 buizen x 5 sproeiers	30
Werk Nickenich	Onbekend, nadere inspectie niet mogelijk	-
Lessines	1 wasser met 10 buizen x 6 sproeiers	60
Quenast	2 wassers met respectievelijk 8 en 9 buizen x 8 sproeiers	64 / 72
Yvoir	1 wasser, nadere inspectie niet mogelijk	-

6.1.2 Kenmerken en eigenschappen ballast gesteente

Bij alle steengroeven is informatie opgevraagd betreffende de petrografische samenstelling van de gesteenten en de prestatiekenmerken van het geproduceerde ballastmateriaal 31,5 – 50mm zoals omschreven in de ProRail SPC00033. Specifiek ging het hierbij om de volgende informatie:

- De hardheidskenmerken (Los Angeles en Micro Deval)
- Het percentage fines (<63µm)
- De dichtheid van het materiaal
- Het percentage kwarts

In Tabel 6 is de informatie over de gesteenten en het ballastmateriaal samengevat.

Tabel 6. Eigenschappen en prestatiekenmerken van de gesteenten en het ballastmateriaal (31,5-50mm)

Wingebied	**Petrografische beschrijving**	**Kwarts** (%)	**LA**	**Micro-Deval**	**Dichtheid** (g/cm^3)	**Fines** (%)
Eikefet, Noorwegen	Granietgneis	20 - 60 [1,2)] 24 [4)]	- [2)]	- [2)]	- [2)]	<0,5 [2)]
Seljestokken Svelgen, Noorwegen	Kwartsiet/zandsteen (greywacke)	50	12,4	6,8	2,73	0,25
Tau, Noorwegen	Kwartsdioriet	15	10,7	4,8	2,79	0,3
Jelsa, Noorwegen	Granodioriet	25	11	5	2,77	0,5
Bremanger, Noorwegen	Kwartsiet/zandsteen (greywacke)	40	13	9	2,71	<0,5
Glensanda, Schotland	Graniet	70	10	6	- [2)]	<0,5 [2)]
Taben-Rodt, Duitsland	Kwartsiet (taunus-kwartsiet)	78 (67 - 89)	13	6	2,75	<0,5 [2)]
Werk Nickenich, Duitsland	Basalt (phono-basaniet)	0	8,5	6,1	2,92	0,15
Lessines, België	Kwartsmicrodioriet (porfier)	5 – 20 [1,2)]	10	6	2,7	<0,5 [2)]
Quenast, België	Kwartsmicrodioriet (porfier)	26,5	7	4	2,72	0,1
Yvoir, België	Kwartsiet/zandsteen (psammarkose)	52 [2,3)]	16	9,3	2,68	0,3

Opmerkingen bij Tabel 6:
1. Bandbreedte kwartsgehalte op basis van de QAFP diagrammen conform NEN-EN 12670 Natuursteen – Terminologie.
2. Geen informatie ontvangen van de betreffende steengroeve cq Nederlandse vertegenwoordiger
3. Kwartspercentage van zandsteen in Yvoir, bron: P. Vanden Eynde, Caracteristiques geologiques et mecaniques des granulats, Academie royale des Sciences d'Outre-Mer, C1982/0149/2, 1983
4. Kwartspercentage van granietgneis uit Førde, ca. 100km van Eikefet, bron: I. Bryhni, Fitch F.J., J.A. Miller, 40AR/39Ar Dates from recycled Precambrian rocks in the gneiss region of the Norwegian caledonides, Norsk Geologisk Tidsskrift, Vol. 51, 391-406, 1971.

6.1.3 Percentage breekstof

In Tabel 7 zijn de percentages breekstof weergegeven in de 13 monsters ballastgesteente, bepaald met behulp van de natte wassing conform NEN-EN 933-1. Van de op de steengroeven gewassen stenen is het percentage van de fractie <63 µm (fines) kleiner dan 0,4%. In de ongewassen stenen ligt dit percentage tussen de 0,4 – 1,3 %. Op basis van deze getallen blijkt dat het wassen van de ballast op de steengroeve cq. verwerkingslocatie een grote invloed heeft op het percentage breekstof. Ter illustratie is in Afbeelding 5 het percentage breekstof (fines) uitgezet tegen het aantal sproeiers van de wasinstallatie.

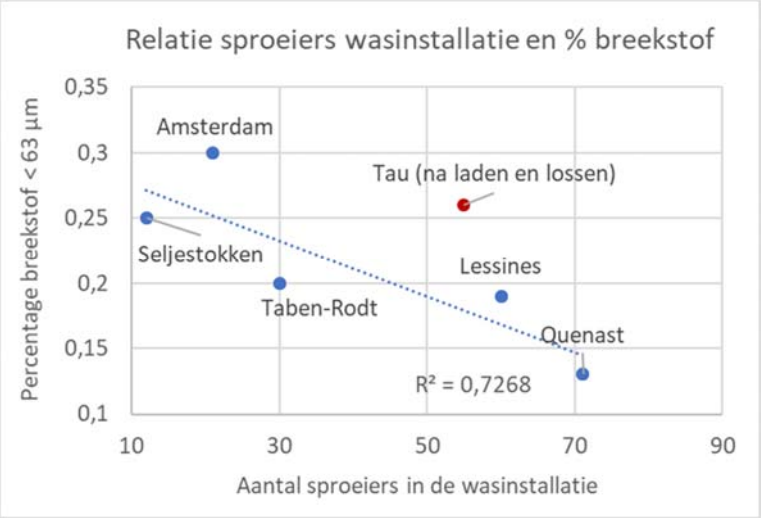
De ballast uit Tau is niet direct bemonsterd, maar pas na het beladen in Tau en lossen in Amsterdam. Hierdoor zal het percentage breekstof hoger zijn dan wanneer de ballast direct na het wassen zou zijn bemonsterd. Dit meetpunt is niet meegenomen in de correlatie. Uit het correlatiediagram blijkt dat (in grote lijnen) het aantal sproeiers een effect heeft op de effectiviteit van de wassing. Natuurlijk spelen ook andere factoren een rol, zoals de doorvoer van de ballast (kg/uur) en de hoeveelheid water (m^3/uur) (zie Afbeelding 15). Maar dit geeft wel aan dat een goede effectieve wasinstallatie met voldoende sproeiers het percentage breekstof naar beneden kan brengen.

Tabel 7. Percentage < 63 µm (fines) en de zeeffractie verdeling, na het natzeven van de bemonsterde typen gesteenten

TNO code	Groeve	Type gesteente	Conditie van het materiaal	Percentage v/d zeeffracties			
				<63um	<63um - 1mm	1 - 10mm	>10mm
8	Werk Nickenich	Basaniet	Ongewassen	0,52%	0,30%	0,02%	99,2%
3	Tau	Kwartsdioriet	Ongewassen	0,48%	0,31%	0,07%	99,1%
13	Tau [2)]	Kwartsdioriet	Gewassen	0,26%	0,21%	0,02%	99,5%
9	Lessines	Kwartsmicrodioriet	Gewassen	0,19%	0,10%	0,14%	99,6%
10	Quenast	Kwartsmicrodioriet	Gewassen	0,13%	0,02%	0,01%	99,8%
12	Quenast	Kwartsmicrodioriet	Ongewassen	1,28%	0,19%	0,24%	98,3%
1	Eikefet	Granietgneis	Ongewassen	0,43%	0,30%	0,02%	99,3%
4	Jelsa (type 2)	Granodioriet	Ongewassen	0,77%	0,87%	0,18%	98,2%
6	Glensanda	Graniet	Ongewassen	0,82%	2,61%	0,13%	96,4%
2	Seljestokken	Kwartsiet	Ongewassen	0,85%	0,64%	0,04%	98,5%
5	Bremanger	Kwartsiet	Gewassen	0,30%	0,16%	0,03%	99,5%
11	Yvoir [1)]	Kwartsiet	Gewassen	0,38%	0,06%	0,00%	99,6%
7	Taben-Rodt	Kwartsiet	Gewassen	0,20%	0,11%	0,01%	99,7%

Opmerkingen bij Tabel 7:

1) De ballast afkomstig uit Yvoir heeft lange tijd in depot gestaan, hierdoor kan het percentage breekstof (fines) hoger zijn dan vers geproduceerd ballast
2) Het ballast uit Tau is bemonsterd uit depot in Amsterdam, dit betekent dat dit materiaal al twee transporthandelingen heeft ondergaan: laden in Tau en lossen in Amsterdam



Afbeelding 5. Correlatiediagram van het percentage breekstof <63µm uitgezet tegen het aantal sproeiers van de wasinstallatie op de steengroeve en verwerkingslocatie.

6.2 Simulatiemetingen

6.2.1 Inhaleerbaar en respirabel stof en respirabel kwarts

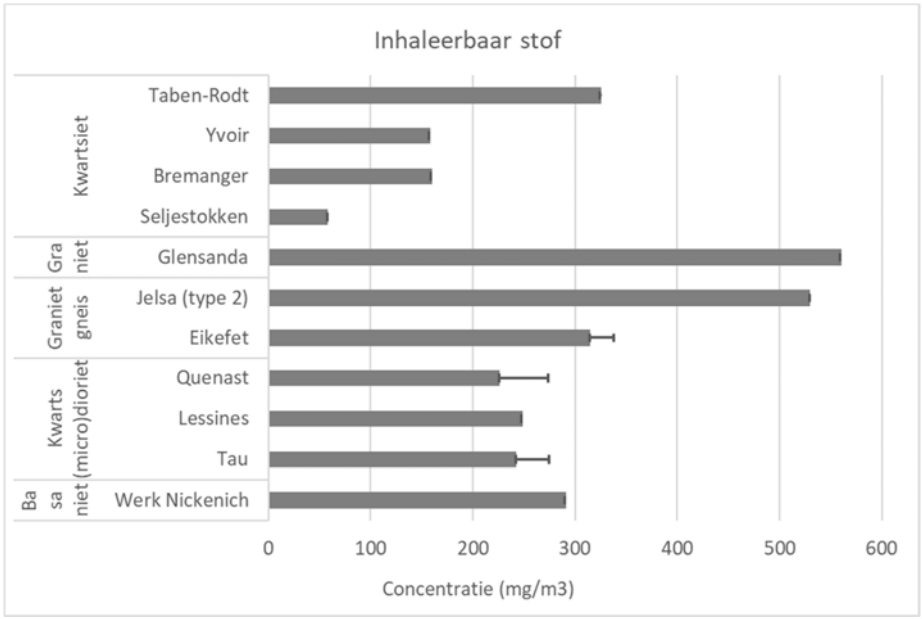
In Tabel 8 staan de resultaten weergegeven van de gravimetrische bepalingen van inhaleerbaar- en respirabel stof en de chemische bepalingen van respirabel kristallijn silica. Hierbij is onderscheid gemaakt in de kristallijne vormen kwarts en cristoballiet. In géén van de monsters is respirabel cristoballiet aangetroffen, waarmee de concentratie lager is dan 0,02 mg/m^3 (de detectiegrens). De genoemde typen gesteenten zijn afkomstig van informatie aangeleverd door de certificaathouders. In Afbeelding 6 tot en met 8 zijn de resultaten van inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwarts tevens schematisch weergegeven. Deze gemeten concentraties, weergegeven in mg/m^3, kunnen niet direct worden vergeleken met grenswaarden. De stof- en kwartsemissies zijn namelijk het resultaat van gesimuleerde “worst case” activiteiten met gedroogd ballast in een laboratoriumopstelling, waarbij de stenen continu vallen en schuren.

Met een aantal typen gesteenten zijn meerdere (duplo/triplo) simulatiemetingen uitgevoerd om de variantie in het testresultaat te kunnen bepalen en zodoende de nauwkeurigheid en robuustheid van de methode te kunnen beoordelen. Van deze metingen is de gemiddelde concentratie en de standaarddeviatie (SD) bepaald, aangegeven met ‘±’. Ook is de variantie (spreiding) bepaald van het verloop in de continue (real-time) gemeten stofconcentraties over de gehele meetperiode. De gemiddelde variantie is 10% met een bandbreedte tussen de 4 en 16%. De berekende standaarddeviatie in de duplo- en triplometingen is ca. 13% voor inhaleerbaar stof en ca. 8% voor respirabel stof. Deze standaarddeviaties zijn relatief laag en komen goed overeen met de variantie in de continue metingen, wat betekent dat de methode nauwkeurig en robuust is. In Tabel 8 is te zien dat bij het Basaniet gesteente, waar geen kwarts in zit, toch respirabel kwarts is gemeten. Het betreft hier sporen kwarts die afkomstig kunnen zijn uit het gesteente zelf of van een verontreiniging tussen het gesteente (bijvoorbeeld zand).

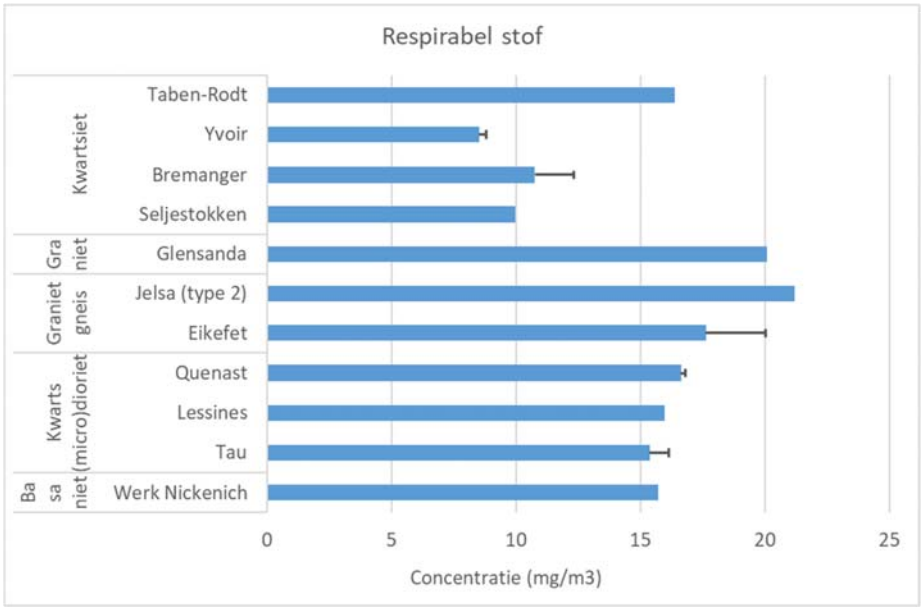
Tabel 8. Concentratie inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwarts, in mg/m^3, gemeten tijdens de simulatie experimenten met de verschillende typen gesteenten na wassen door TNO (met uitzondering van monster 12 en 13)

TNO code	Steengroeve	Type gesteente	Concentratie (mg/m^3) [7]			Variantie continue meting [3]
			Inhaleerbaar stof	Respirabel stof	Respirabel Kwarts [6]	
8	Werk Nickenich	Basaniet	291	15,7	0,04 (0,2%)	8%
3	Tau	Kwartsdioriet	243 ±32 [1]	15,4 ±0,8 [1]	0,63 (4,1%)	16%
13	Tau [5] (ongewassen)	Kwartsdioriet	320	18,4	1,06 (5,7%)	8%
9	Lessines	Kwarts-microdioriet	249	16,0	0,70 (4,4%)	10%
10	Quenast	Kwarts-microdioriet	226 ±47 [1]	16,6 ±0,2 [1]	0,62 (3,7%)	9%
12	Quenast [5] (ongewassen)	Kwarts-microdioriet	287	23,0	1,57 (6,8%)	6%
1	Eikefet	Granietgneis	315 ±23 [2]	17,6 ±2,4 [2]	0,51 (2,9%)	16%
4	Jelsa (type 2) [4]	Granodioriet	530	21,2	0,99 (4,7%)	4%
6	Glensanda	Graniet	560	20,1	2,18 (11%)	10%
2	Seljestokken	Kwartsiet	58	10,0	0,27 (2,7%)	14%
5	Bremanger	Kwartsiet	160	10,8 ±1,6 [1]	0,42 (3,9%)	12%
11	Yvoir	Kwartsiet	158	8,5 ±0,3 [1]	0,30 (3,5%)	8%
7	Taben-Rodt	Kwartsiet	326	16,4	3,83 (23%)	10%

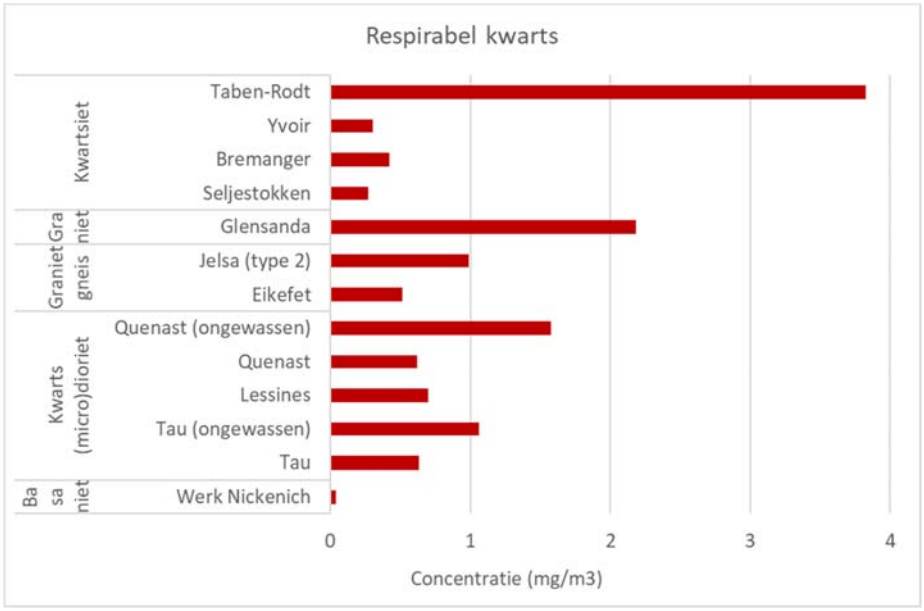
Opmerkingen bij Tabel 8:
1) duplometing, gemiddelde resultaat inclusief standaarddeviatie (±)
2) triplometing, gemiddelde resultaat inclusief standaarddeviatie (±)
3) variantie (spreiding) in gemeten stofconcentraties over de totale meettijd, op basis van de continue stof metingen
4) In de steengroeve Jelsa wordt geen type 1 (31,5-50mm) gesteente geproduceerd, de testen zijn daarom uitgevoerd met type 2 (20-40mm) gesteente
5) Monsters 13 (Tau) en 12 (Quenast) zijn voorafgaand aan de simulatietesten niet door TNO gewassen
6) De getallen tussen haakjes geven het percentage respirabel (kristallijn) kwarts in respirabel stof
7) De gemeten concentraties kunnen niet direct worden vergeleken met geldende grenswaarden. Het betreft hier nagebootste “worst case” activiteiten, waarbij het ballast continu wordt bewerkt (vallen en schuren).



Afbeelding 6. Concentratie inhaleerbaar stof, in mg/m^3, gemeten tijdens de simulatie experimenten met de verschillende typen gesteenten.



Afbeelding 7. Concentratie respirabel stof in mg/m^3, gemeten tijdens de laboratorium experimenten met de verschillende typen gesteenten.

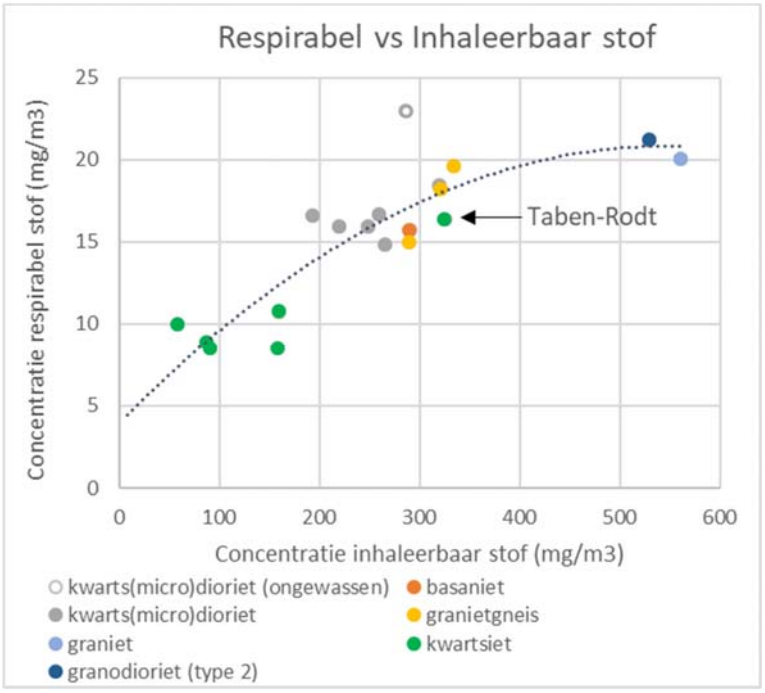


Afbeelding 8. Concentratie respirabel kwarts in mg/m^3, gemeten tijdens de simulatie experimenten met de verschillende typen gesteenten.

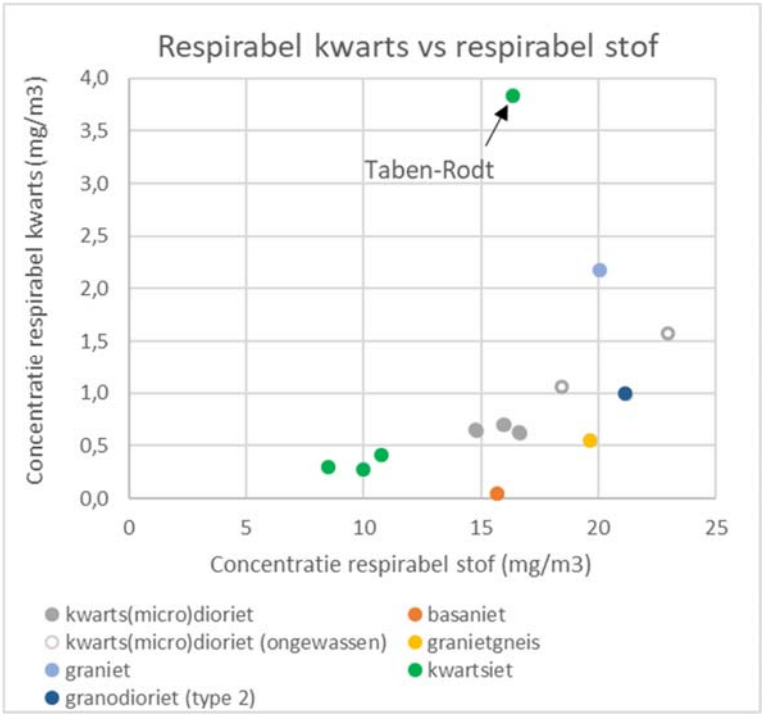
Om de resultaten aan inhaleerbaar en -respirabel stof en respirabel kwarts te kunnen interpreteren en te kunnen duiden zijn hieronder vier correlatiediagrammen weergeven. De volgende diagrammen zijn gemaakt:

1) de gemeten concentratie aan respirabel stof uitgezet tegen de gemeten concentratie aan inhaleerbaar stof (Afbeelding 9),
2) de gemeten concentratie een respirabel kwarts uitgezet tegen de gemeten concentratie aan respirabel stof (Afbeelding 10) en
3) de gemeten concentratie aan respirabel (kristallijn) kwarts uitgezet tegen het door TNO gemeten percentage totaal silicium in inhaleerbaar stof (zie tevens Tabel 9), uitgedrukt als oxide oftewel SiO_2 (Afbeelding 11). Het silicium in inhaleerbaar stof kan aanwezig zijn als silica (zowel kristallijn als amorf) en als silicaat (samen met aluminium en eventueel andere elementen).
4) de gemeten concentratie aan respirabel (kristallijn) kwarts uitgezet tegen het door de steengroeven opgegeven percentage kwarts in de gesteenten (Afbeelding 12).

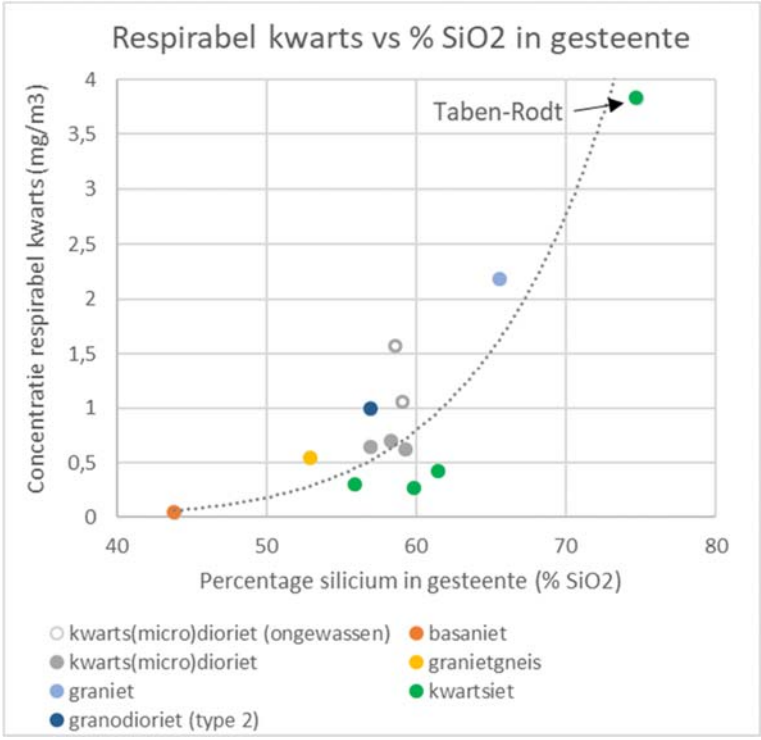
In de diagrammen zijn alle individuele meetresultaten gegeven; dit betekent dat van de duplo en triplo metingen niet het gemiddelde resultaat maar de afzonderlijke resultaten zijn gegeven. In de diagrammen zijn de verschillende typen gesteenten weergegeven in verschillende kleuren. Hierbij is kwartsmicrodioriet (porfier) in dezelfde categorie gezet als kwartsdioriet. Beide zijn namelijk stollingsgesteenten met eenzelfde bandbreedte in het kwartspercentage. Van dit type gesteente zijn ook twee meetresultaten meegenomen van de originele ongewassen ballast (Quenast en Tau). Deze resultaten zijn aangegeven als witte cirkels met grijze buitenrand.



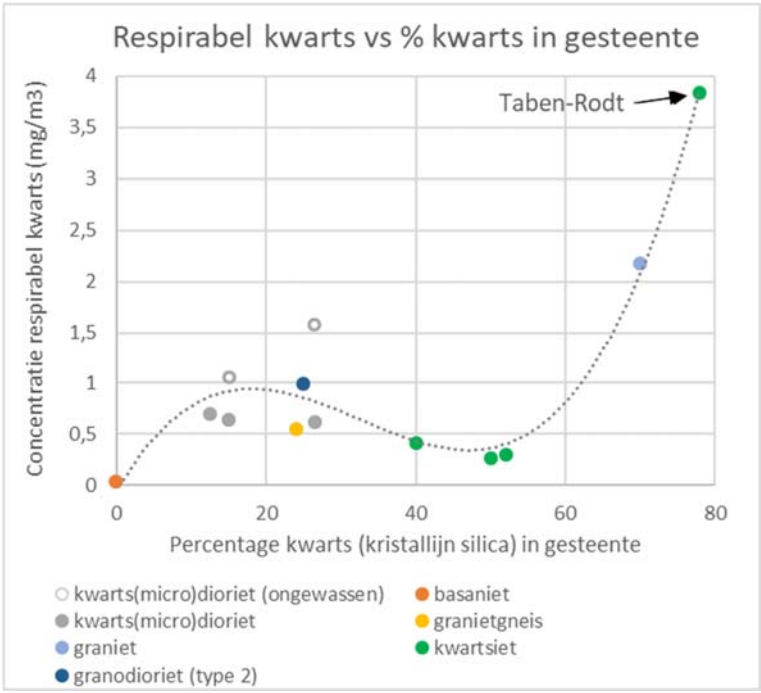
Afbeelding 9. Correlatiediagram van de gemeten concentraties aan respirabel en inhaleerbaar stof tijdens de simulatie experimenten met onderscheid in typen gesteenten.



Afbeelding 10. Correlatiediagram van de gemeten concentraties aan respirabel kwarts en respirabel stof tijdens de simulatie experimenten met onderscheid in typen gesteenten.



Afbeelding 11. Correlatiediagram van de gemeten concentraties aan respirabel (kristallijn) kwarts tijdens de simulatie experimenten en het totaalpercentage silicium bepaald met SEM-EDX, uitgedrukt als oxide (SiO_2) in de typen gesteenten.



Afbeelding 12. Correlatiediagram van de gemeten concentraties aan respirabel (kristallijn) kwarts tijdens de simulatie experimenten en het kwartspercentage in de gesteenten zoals opgegeven door de steengroeven.

In de correlatiediagrammen valt duidelijk te zien dat binnen een bepaald type gesteente de stof- en kwartsconcentraties dicht bij elkaar liggen. Dit betekent dat de stofemissie duidelijk verband houdt met de eigenschappen van het type gesteente. Deze constatering kent echter één uitzondering. Binnen het kwartsiet gesteente is de steengroeve in Taben-Rodt duidelijk afwijkend; bij de simulatie-experimenten is met dit gesteente meer stof en vooral veel meer respirabel kwarts gemeten dan bij de andere steengroeven met kwartsiet gesteenten, waaronder Yvoir, Seljestokken en Bremanger.

Bij de stollingsgesteenten granodioriet en graniet wordt tijdens de simulatie-experimenten de grootste stofemissie gemeten en ook het respirabel kwartsgehalte is bij dit steentype relatief hoog. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de steengrootte van het granodioriet gesteente afkomstig van de steengroeve in Jelsa kleiner is (20-40mm in plaats van 31,5-50mm), wat invloed kan hebben gehad op het testresultaat. Namelijk, kleinere stenen hebben minder massa, wat betekent dat een 20 kg monster uit meer stenen bestaat met meer contactoppervlak. Dit maakt het ook lastig om de resultaten te vergelijken met granietgneis, waarvan het kwartsgehalte vergelijkbaar is met granodioriet. Granietgneis is overigens een metamorf gesteente en geen stollingsgesteente zoals granodioriet.

Wat betreft stofontwikkeling is het stollingsgesteente basaniet vergelijkbaar met de stollingsgesteenten kwarts(micro)dioriet (porfier), echter, doordat basaniet geen kwarts bevat is de emissie van respirabel kwarts tijdens de simulatie-experimenten nagenoeg nul. Van het porfier gesteente zijn ook twee ongewassen monsters meegenomen. Duidelijk is te zien dat er meer stof en respirabel kwarts vrijkomt.

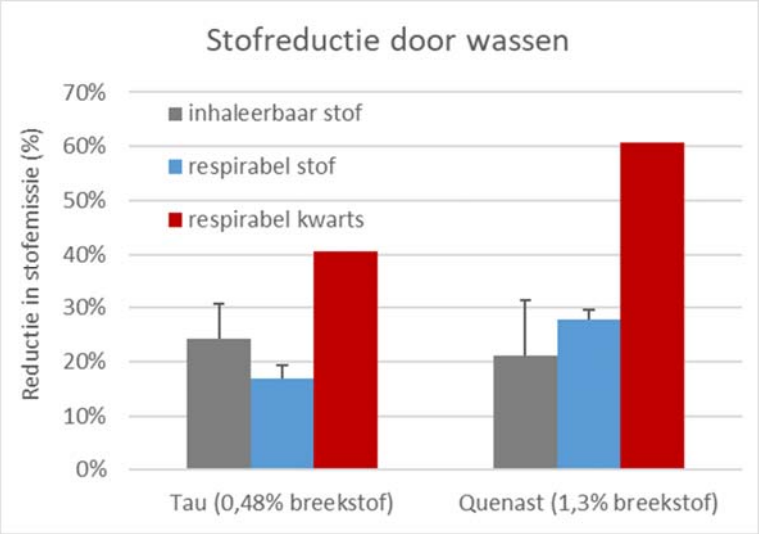
6.2.2 Stofreductie door wassen

Van twee steengroeven is ook het originele, niet door TNO gewassen, gesteente getest, het betreft Tau en Quenast met een percentage breekstof (fractie <63µm) van respectievelijk 0,48% en 1,3%. In Afbeelding 13 is voor beide gesteenten de stofreductie door wassen schematisch weergegeven. Hierbij is onderscheid gemaakt in inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwarts. De stofreductie is berekend door de stof- en kwartsemissie van het door TNO gewassen materiaal (Tabel 8, monsters 3 en 10) te vergelijken met de emissies van het originele ongewassen materiaal (Tabel 8, monsters 13 en 12). Voor inhaleerbaar en respirabel stof wordt een reductie van 20-25% bereikt en voor respirabel kwarts is dit 40-60%. Het verwijderen van breekstof door een extra wassing van TNO heeft, zoals verwacht, veel effect op de stofemissie en vooral op de respirabel kwartsemissie.

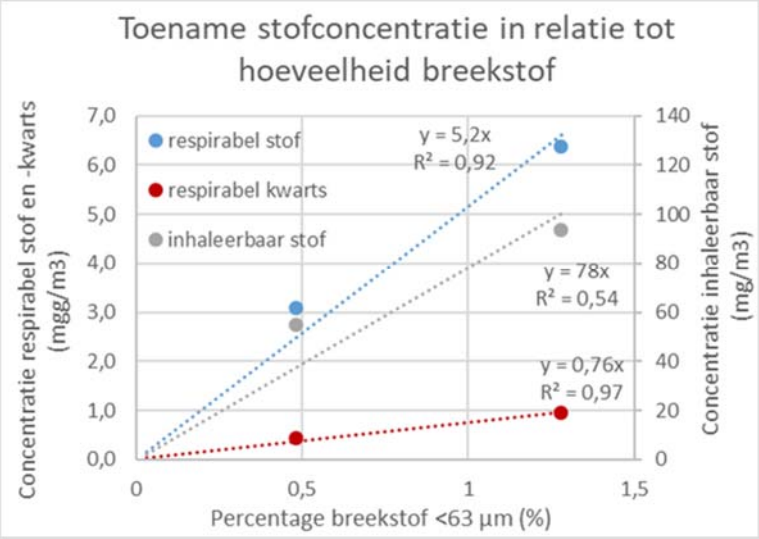
In Afbeelding 14 is de absolute toename in stof- en kwartsconcentratie (verschil tussen gewassen en ongewassen gesteente) uitgezet tegen het percentage breekstof kleiner dan 63 µm (fines). Duidelijk is te zien dat er een lineair verband is tussen het percentage breekstof (fines) en de stof- en kwartsemissie. Voor inhaleerbaar stof is deze correlatie iets minder aanwezig, dit kan te maken hebben de korrelgrootteverdeling van het breekstof dat voor Tau relatief iets grover is dan voor Quenast.

De gesteenten in Tau en Quenast zijn allebei van het type kwarts(micro)dioriet met een vergelijkbaar kwartspercentage in het gesteente. Bij extrapolatie van de

resultaten naar de andere typen gesteenten moet hiermee worden rekening gehouden.



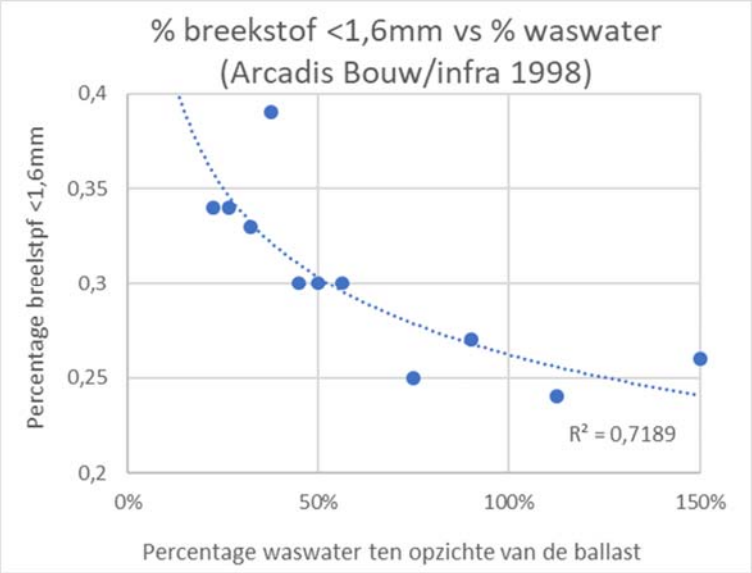
Afbeelding 13. Reductie van de concentratie inhaleerbaar en respirabel stof en respirabel kwarts door het wassen van het gesteente door TNO voorafgaand aan de simulatie experimenten.



Afbeelding 14. Correlatiediagram van de toename in de stof- en kwartsconcentratie als gevolg van het percentage breekstof <63 µm.

In december 1998 zijn op de steengroeve in Quenast wasproeven uitgevoerd waarbij de hoeveelheid waswater is gevarieerd (Arcadis Bouw/Infra, 1998). Standaard werd in Quenast 900 ton ballast per uur geproduceerd, waarbij 450 m^3 waswater per uur werd gebruikt. Hiermee werd het percentage breekstof < 1,6mm teruggebracht van 2,3% tot 0,3%. Na iedere wasproef is toen het percentage breekstof < 1,6mm bepaald conform de Technische bepaling L-11 van de NMBS. In Afbeelding 15 zijn de resultaten van deze wasproeven weergegeven in de vorm

van een correlatiediagram waarbij het percentage breekstof <1,6mm is uitgezet tegen de relatieve hoeveelheid waswater (in procenten) ten opzichte van de doorvoer aan ballast. Hieruit blijkt dat door het gebruik van meer waswater het percentage breekstof omlaag kan worden gebracht. Dit effect is vooral zichtbaar tussen de 20 en 100% waswater; bij het toevoegen van nog meer waswater (>100%) is het effect nauwelijks zichtbaar. De percentages kunnen niet direct worden vergeleken met de door TNO bepaalde percentages breekstof, aangezien toen de fractie <1,6mm is onderzocht en in dit onderzoek het percentage 'fines' (<0,063mm).



Afbeelding 15. Correlatiediagram van de afname van het percentage breekstof (<1,6mm) als gevolg van het toevoegen van meer waswater, in relatieve massapercentages ten opzichte van de ballast.

6.2.3 Elementsamenstelling inhaleerbaar stof

In Tabel 9 is de elementsamenstelling van het inhaleerbaar stof van de verschillende typen gesteenten gegeven, geanalyseerd met SEM-EDX en uitgedrukt in oxiden (zoals gebruikelijk is). De gegeven elementsamenstelling is het gemiddelde resultaat van drie afzonderlijke analyses, waarbij tevens de standaarddeviatie (SD) is gegeven. Als detectielimiet is hierbij 0,2%m/m aangehouden. De in de tabel genoemde oxiden moeten niet worden beschouwd als afzonderlijke componenten in het gesteente. Bijvoorbeeld, silicium, uitgedrukt als SiO_2, kan aanwezig zijn als silica (zowel kristallijn als amorf) en als silicaat (samen met aluminium en andere elementen).

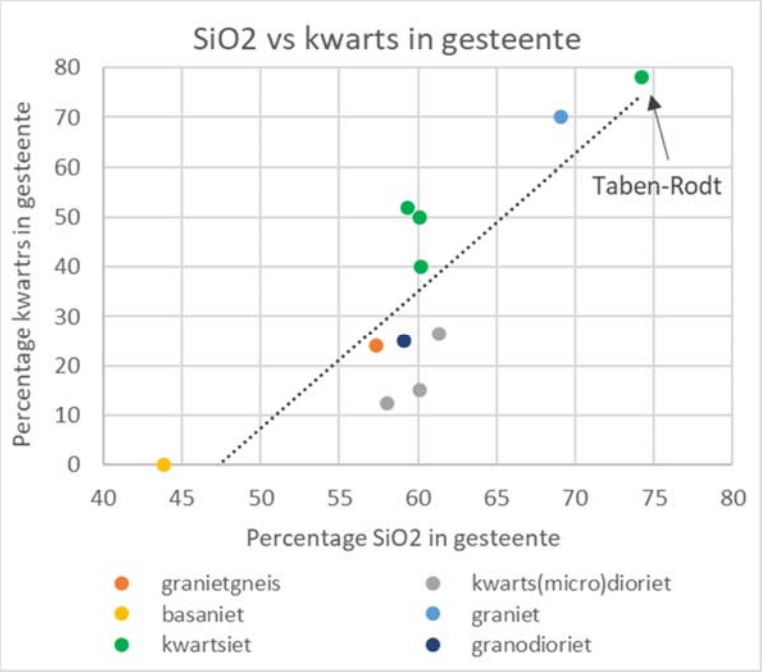
Tabel 9. Elementsamenstelling van inhaleerbaar stof, verzameld tijdens de simulatie experimenten met de diverse typen gesteenten. De elementsamenstelling is weergegeven in gewichtspercentages aan oxiden [1].

Code	Groeve	Gesteente	Kwarts %	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	FeO	P_2O_5	SO_3
8	Werk Nickenich	Basaniet	0	5,2 ±0,4	6,5 ±0,5	19 ±1	44 ±2	3,9 ±0,1	9,5 ±0,6	2,3 ±0,1	8,4 ±0,2	0,9 ±0,1	<0,2
3	Tau	Kwartsdioriet	15	4,7 ±0,4	2,3 ±0,2	20 ±1	57 ±1	1,4 ±0,1	6,9 ±0,7	0,6 ±0,1	6,5 ±0,2	<0,2	<0,2
13	Tau (bemonstering Amsterdam)	Kwartsdioriet	15	4,4 ±0,3	2,9 ±0,1	19 ±1	59 ±2	1,4 ±0,2	5,7 ±0,9	0,5 ±0,1	6,4 ±0,2	<0,2	<0,2
9	Lessines	Kwartsmicro-dioriet	5-20 [2)]	3,6 ±0,3	4,5 ±0,1	18 ±1	58 ±2	2,9 ±0,3	3,1 ±0,7	0,8 ±0,1	8,1 ±0,7	<0,2	<0,2
10	Quenast	Kwartsmicro-dioriet	26,5	4,4 ±0,3	3,8 ±0,1	17 ±1	59 ±2	2,8 ±0,1	3,2 ±0,4	1,0 ±0,1	7,6 ±0,6	<0,2	<0,2
12	Quenast (ongewassen)	Kwartsmicro-dioriet	26,5	4,1 ±0,3	4,0 ±0,1	17 ±1	59 ±2	2,6 ±0,1	3,6 ±0,5	0,8 ±0,1	8,6 ±0,7	<0,2	<0,2
1	Eikefet	Granietgneis	24 (20-60) [2)]	4,3 ±0,4	4,4 ±0,4	17 ±1	53 ±2	2,7 ±0,2	7,2 ±0,6	1,6 ±0,1	9,3 ±0,8	<0,2	<0,2
4	Jelsa	Granodioriet	50	3,6 ±0,4	2,3 ±0,1	16 ±1	57 ±2	4,8 ±0,3	4,1 ±0,4	1,4 ±0,1	9,5 ±0,5	<0,2	<0,2
6	Glensanda	Graniet	70	4,9 ±0,4	1,5 ±0,1	17 ±1	66 ±2	3,8 ±0,4	3,3 ±0,5	0,7 ±0,1	2,8 ±0,1	<0,2	<0,2
2	Seljestokken	Kwartsiet	25	2,7 ±0,3	4,1 ±0,1	15 ±1	60 ±1	3,3 ±0,1	5,8 ±0,6	1,1 ±0,1	7,5 ±0,3	<0,2	<0,2
5	Bremanger	Kwartsiet	40	2,7 ±0,2	3,4 ±0,3	15 ±1	61 ±3	3,6 ±0,3	7,4 ±0,8	0,8 ±0,1	5,0 ±0,5	<0,2	<0,2
11	Yvoir	Kwartsiet	52	1,7 ±0,2	5,0 ±0,2	16 ±1	56 ±2	4,3 ±0,4	9,4 ±1,6	0,8 ±0,1	6,3 ±0,4	<0,2	0,6 ±0,1
7	Taben-Rodt	Kwartsiet	78 (67-89)	0,9 ±0,1	0,9 ±0,1	13 ±1	75 ±2	3,3 ±0,4	0,9 ±0,1	0,6 ±0,2	5,3 ±0,4	<0,2	<0,2

Opmerkingen Tabel 7:

1) De genoemde oxiden moeten niet worden beschouwd als afzonderlijke componenten in het gesteente. Bijvoorbeeld, silicium, uitgedrukt als SiO_2, kan aanwezig zijn als silica (o.a. kwarts) en als silicaat (o.a. veldspaten).
2) Bandbreedte kwartsgehalte op basis van de QAFP diagrammen conform NEN-EN 12670 Natuursteen – Terminologie.

Naast de elementsamenstelling van het inhaleerbaar stof is op dezelfde manier ook de elementsamenstelling van het originele gesteente bepaald. In algemene zin kan worden gesteld dat de elementsamenstelling van het inhaleerbaar stof vrijwel identiek is aan de samenstelling van het originele gesteente. In Afbeelding 16 is het kwartsgehalte zoals opgegeven door de steengroeven vergeleken met het door TNO bepaalde percentage silicium (als oxide SiO_2) in de verschillende gesteenten. Hieruit blijkt dat er een matige correlatie is tussen het kwarts- en siliciumgehalte in de gesteenten. Dit is logisch aangezien silicium niet alleen aanwezig is als kwarts (kristallijn silica) maar ook in andere minerale vormen kan voorkomen (o.a. veldspaten). De uitzondering hierop is kwartsiet uit Taben-Rodt en graniet uit Glensanda; in deze gesteenten is vrijwel al het silicium aanwezig als kwarts.



Afbeelding 16. Percentage kwarts in de gesteenten, zoals opgegeven door de steengroeven, vergeleken met het percentage silicium (weergegeven als oxide) in de gesteenten.

6.2.4 Schadelijke componenten

Het vrijgekomen stof tijdens de simulatie-experimenten is onderzocht op vezelvormige bestanddelen en metallische minerale deeltjes. In Tabel 10 zijn de resultaten van de aangetroffen minerale vezels weergegeven. Naast vezelvormige aluminiumsilicaat deeltjes en vezelvormige silica (SiO_2) deeltjes zijn géén andere minerale vezels aangetroffen in het stof. Dit betekent dat er géén asbestvezels en géén erioniet vezels zijn aangetroffen. Naast de concentratie vezelvormige deeltjes is tussen haakjes ook het 95% betrouwbaarheidsinterval weergegeven.

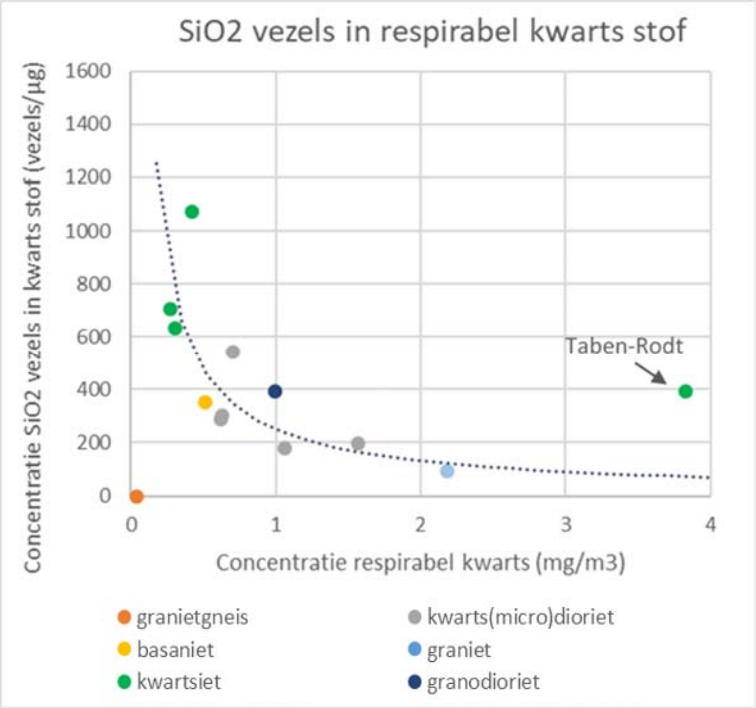
De vezelvormige minerale deeltjes die zijn aangetroffen voldoen weliswaar aan de WHO-definitie van vezels (lengte >5µm, diameter <3µm en lengte-diameter verhouding >3) echter, het zijn vrijwel allemaal vezelvormige splijtfragmenten met beperkte lengte : diameter verhouding en niet te vergelijken met ‘echte’ vezels.

Bijvoorbeeld, respirabele asbestiforme vezels hebben vrijwel allemaal een lengte-diameter verhouding van meer dan 10.

Tabel 10. Concentratie silicaatvezels en siliciumoxide vezels, gemeten tijdens de simulatie experimenten met de verschillende typen gesteenten

TNO Code	Steengroeve	Type gesteente	Vezeldimensie (µm)			Vezelconcentratie (vezels/m^3 x 10^6)	
			L	D	L:D	Silicaten	SiO2
8	Werk Nickenich	Basaniet	8,9	1,4	6,4	2,8 (2,1 – 3,8)	< 0,19
3	Tau	Kwartsdioriet	8,6	1,0	9,4	6,5 (5,3 – 7,9)	<0,19
13	Tau (ongewassen)	Kwartsdioriet	8,5	1,1	8,0	6,9 (5,7 – 8,3)	<0,19
9	Lessines	Kwarts-microdioriet	7,3	1,1	7,1	3,5 (2,6 – 4,6)	0,38 (0,14 – 0,84)
10	Quenast	Kwarts-microdioriet	7,3	1,1	7,5	3,6 (2,8 – 4,7)	< 0,18
12	Quenast (ongewassen)	Kwarts-microdioriet	8,1	1,1	7,5	2,1 (1,4 – 2,9)	0,31 (0,10 – 0,72)
1	Eikefet	Granietgneis	9,8	1,2	8,9	17 (15 – 20)	< 0,54
4	Jelsa (type 2)	Granodioriet	7,5	1,0	8,5	5,6 (4,4 – 6,9)	0,39 (0,14 – 0,84)
6	Glensanda	Graniet	7,4	1,1	6,9	3,5 (2,6 – 4,6)	0,20 (0,04 – 0,60)
2	Seljestokken	Kwartsiet	8,5	1,1	8,8	1,7 (1,1 – 2,5)	0,19 (0,04 – 0,56)
5	Bremanger	Kwartsiet	9,4	1,2	10,1	2,5 (1,8 – 3,4)	0,45 (0,18 – 0,93)
11	Yvoir	Kwartsiet	8,2	1,2	7,6	1,2 (0,7 – 1,9)	0,19 (0,04 – 0,56)
7	Taben-Rodt	Kwartsiet	7,2	1,0	8,4	6,5 (5,3 – 7,9)	1,5 (0,95 – 2,3)

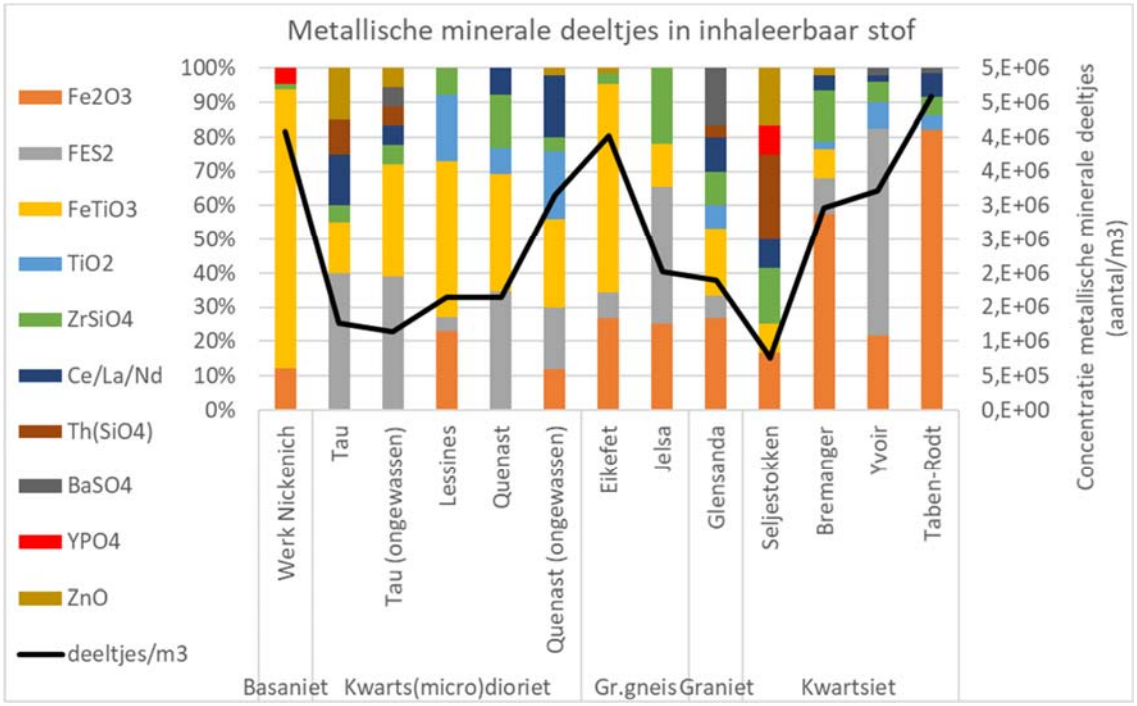
Vooral in het stof afkomstig van het kwartsiet gesteente uit de steengroeve Taben-Rodt is de concentratie aan silicavezels relatief hoog. Ditzelfde geldt voor de concentratie vezelvormige aluminiumsilicaten in het granietgneis gesteente uit de steengroeve Eikefet. Er zijn geen specifieke schadelijke effecten bekend van de aangetroffen vezelvormige minerale deeltjes. De vezelvormige silicadeeltjes maken wel onderdeel uit van respirabel kwarts en worden in die hoedanigheid getoetst aan de grenswaarde voor kristallijn silica. Over de extra nadelige effecten in relatie tot de vezelvorm zijn geen gegevens bekend. In afbeelding 17 is als illustratie een correlatiediagram gegeven van het aantal silica (siliciumdioxide) vezels in respirabel kwartsstof (vezels/µg) en de gemeten concentratie aan respirabel kwarts. Hieruit blijkt dat vooral in het respirabel kwartsstof afkomstig van kwartsiet een relatief hoog aandeel aan vezelvormige silicadeeltjes aanwezig is.



Afbeelding 17. Correlatiediagram van het aantal siliciumdioxide vezels in kwartsstof (vezels/µg) en de gemeten concentraties aan respirabel kwarts tijdens de simulatie experimenten met de verschillende typen gesteenten.

In afbeelding 18 zijn de aangetroffen typen metallische minerale deeltjes schematisch weergegeven. De gekleurde balken geven de relatieve verdeling van de verschillende typen deeltjes, genormeerd naar 100%. Daarnaast is in hetzelfde diagram de totale concentratie aan metallische minerale deeltjes weergegeven in aantal deeltjes per m^3 (zwarte lijn). De onderstaande typen metallische minerale deeltjes zijn aangetroffen: pyriet (FeS_2), illmeniet ($FeTiO_3$), hematiet (Fe_2O_3), rutiel (TiO_2), zircon ($ZrSiO_4$), thoriet ($Th(SiO_4)$), bariet ($BaSO_4$), xenotiem (YPO_4), zinkiet (ZnO) en diverse minerale vormen met cerium (Ce), lanthanium (La) en neodymium (Nd), zoals gadoliniet en calcioancyliet. Wat enigszins opvalt zijn de hoge concentraties aan ilmeniet in basaniet uit Werk Nickenich en granietgneis uit Eikefet, de hoge concentraties aan hematiet in kwartsiet uit Bremanger en Taben-Rodt en de hoge concentratie aan pyriet in kwartsiet uit Yvoir. De hoge concentratie aan hematiet in het kwartsiet gesteente uit Taben-Rodt is logisch gezien de rode kleur van het gesteente.

Nikkelhoudende mineralen zoals o.a. bunseniet (nikkeloxide) en milleriet (nikkelsulfide) zijn niet aangetroffen. Mica's met metallische elementen (zoals o.a. Ba, Cs, Fe, Zn, Cr, V, Ti, Mn, Ni) zijn ook niet aangetroffen.

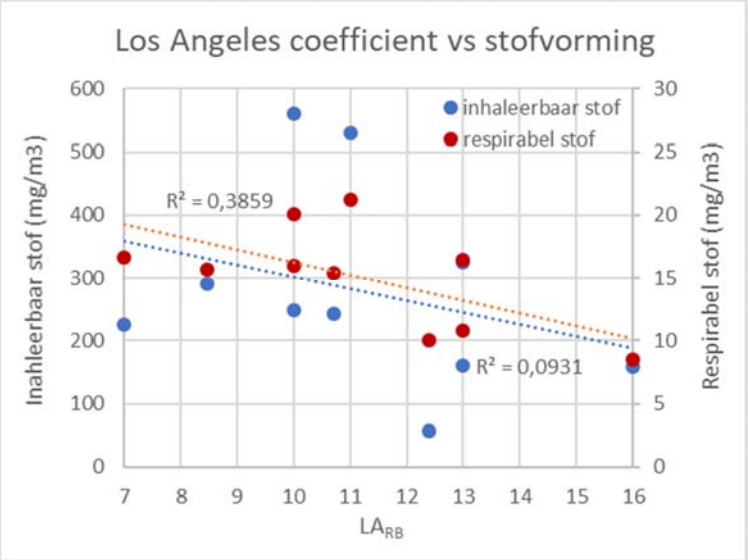


Afbeelding 18. Aantallen (n/m3) en onderverdeling in typen metallische minerale deeltjes (%) aangetroffen in inhaleerbaar stof, gemeten tijdens de simulatie experimenten met de verschillende typen gesteenten

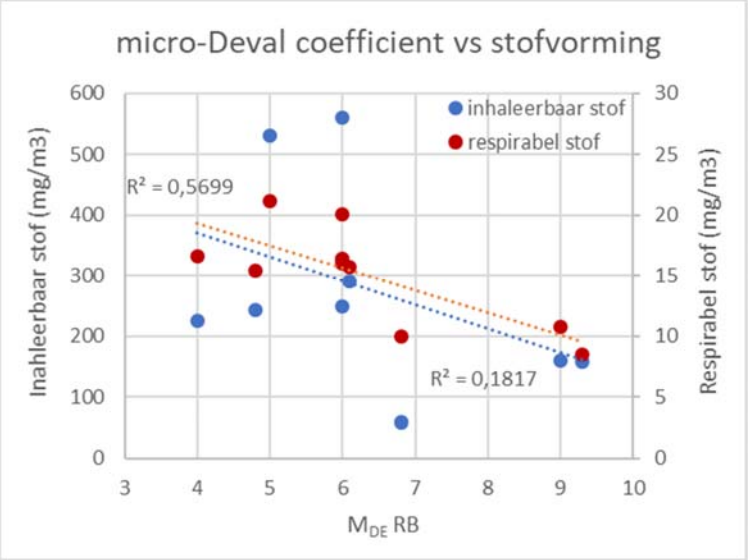
6.2.5 Stofconcentraties in relatie tot hardheidskenmerken ballast

Om meer inzicht te krijgen in de factoren die van invloed zijn op de stofontwikkeling is geprobeerd een relatie te vinden tussen twee hardheidskenmerken van het gesteente (weerstand tegen breuk “Los Angeles” en slijtage “micro-Deval”) en de concentratie aan inhaleerbaar en respirabel stof. In Afbeelding 19 en 20 zijn de gemeten inhaleerbaar- en respirabel stofconcentraties uitgezet tegen de LA-waarde (LA_{RB}) en de micro-Deval waarde (M_{DE} RB). Voor zowel de Los Angeles test als de micro-Deval test geldt hoe lager de waarde hoe meer het gesteente bestand is tegen breuk en slijtage.

Op basis van de diagrammen kan worden gesteld dat er geen correlatie kan worden vastgesteld tussen de inhaleerbare stofconcentratie en de hardheidskenmerken van het ballastmateriaal (R^2 <0,5). Alleen voor de respirabele stofconcentratie lijkt er een matige correlatie (R^2: 0,5 – 0,7) te zijn met de micro-Deval waarde (R^2 =0,57). Echter wat meer opvalt is dat bij de hardere gesteenten, met een hogere weerstand tegen breuk en slijtage, de stofvorming juist lijkt toe te nemen. Dit zou betekenen dat de hardheid van het gesteente een tegengesteld effect heeft op de vorming van vooral respirabel stof. De correlaties zijn echter matig zodat hier geen harde conclusies aan kunnen worden verbonden.



Afbeelding 19. Correlatiediagram van de inhaleerbaar- en respirabel stofconcentraties (mg/m^3) gemeten tijdens de simulatie experimenten en de LA-waarde van de verschillende typen gesteenten.



Afbeelding 20. Correlatiediagram van de inhaleerbaar- en respirabel stofconcentraties (mg/m^3) gemeten tijdens de simulatie experimenten en de micro-Deval waarde van de verschillende typen gesteenten.

6.3 Praktijkmetingen tijdens handelingen met gesteente uit Quenast

De praktijkmetingen zijn uitgevoerd tijdens alle handelingen met het porfiergesteente, vanaf het beladen van vrachtwagens in Quenast tot aan het storten en verdere bewerkingen van het gesteente in een baanvak in Geldermalsen. In totaal zijn tijdens negen handelingen de concentraties aan inhaleerbaar stof en respirabel stof in duplo gemeten en de concentratie aan respirabel kwarts in enkelvoud. Naast de metingen zijn op zes momenten monsters ballast genomen voor de bepaling van het vochtgehalte en het percentage breekstof (zie Tabel 11).

Tabel 11. Het vochtgehalte, percentage < 63 µm (fines) en de zeeffractie verdeling (na het natzeven) van het ballast gesteente na diverse handelingen

TNO code	Activiteit / handeling	Vochtgehalte (%)	Percentage v/d zeeffracties			
			<63um	<63um - 1mm	1 - 10mm	>10mm
15	Depot Quenast (uitgangsmateriaal)	0,54 ± 0,05	0,12%	0,01%	0,07%	99,8%
14	Na beladen schip in Tubeke	0,53 ± 0,01	0,38%	0,03%	0,26%	99,3%
18	Na lossen vrachtwagens op depot in Tiel	0,54 ± 0,03	0,27%	0,04%	0,18%	99,5%
16	Na beladen ballastwagons in Geldermalsen	0,77 ± 0,17	0,42%	0,05%	0,23%	99,3%
17	Na storten ballast in het spoor in Geldermalsen	0,85 ± 0,03	0,62%	0,13%	0,78%	98,5%
19	Na stop- en profileermachine in Geldermalsen	0,17 ± 0,01	0,53%	0,01%	0,21%	99,2%

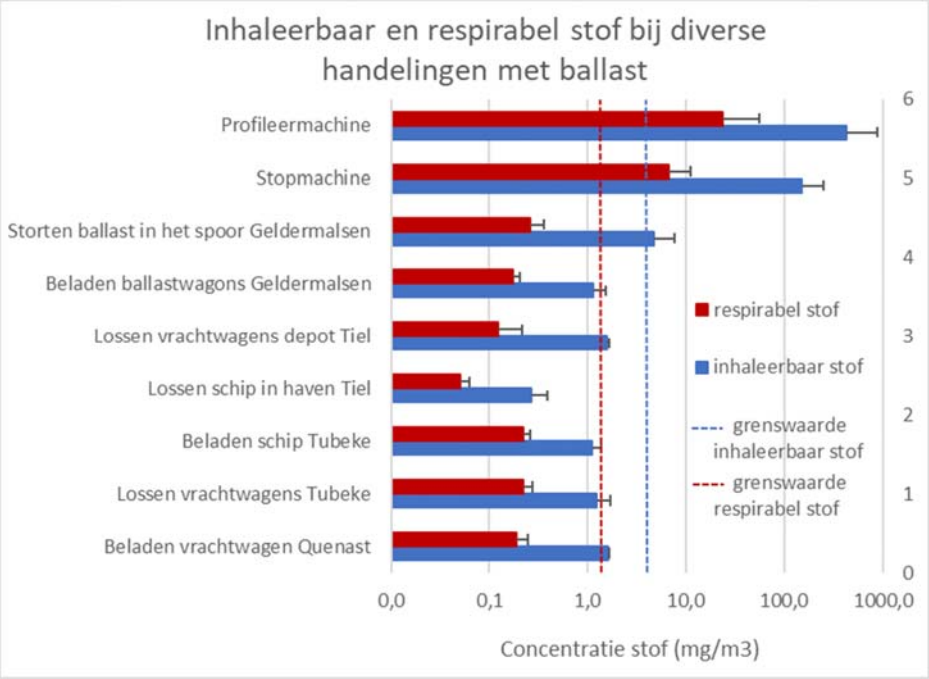
In Tabel 12 staan de resultaten weergegeven van de gravimetrische bepalingen van inhaleerbaar- en respirabel stof en de chemische bepalingen van respirabel kwarts. Voor de stofmetingen, die in duplo zijn uitgevoerd, is de gemiddelde concentratie en de standaarddeviatie (SD) weergegeven, aangegeven met '±'. In Afbeelding 21 en 22 zijn de resultaten van inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwarts tevens schematisch weergegeven. Het percentage kwarts in respirabel stof varieert van 4 – 9% bij de laad- en losactiviteiten, en is daarmee vergelijkbaar met het percentage kwarts tijdens de simulatieproeven (Tabel 8). Duidelijk is wel dat bij de activiteiten met de stop- en profileermachine het kwartspercentage veel hoger ligt (13 – 14%). Een mogelijke verklaring hiervoor is het veel lagere vochtgehalte van de ballast; maar ook wordt tijdens deze activiteiten plaatselijk nieuw ballast toegevoegd waarvan de oorsprong niet duidelijk is.

Voor de diverse transport handelingen vanaf de steengroeve Quenast tot aan het storten in het spoor in Geldermalsen zijn de gemeten concentraties aan stof en kwarts licht verhoogd maar blijven nog ruim onder de geldende grenswaarden. Tijdens handelingen met de stopmachine en profileermachine is wel een duidelijke verhoging te zien in de gemeten concentraties aan stof en kwarts, waarbij grenswaarden worden overschreden. Hierbij moet echter worden opgemerkt dat de metingen dicht op de diverse handelingen zijn uitgevoerd (binnen enkele meters) en als 'worst case' moeten worden beschouwd. Daarnaast gaat het om relatief kort durende handelingen (30 – 120 minuten) en dienen, voor een juiste toetsing aan grenswaarden, deze concentraties te worden omgerekend naar 8 uurs gemiddelde waarden.

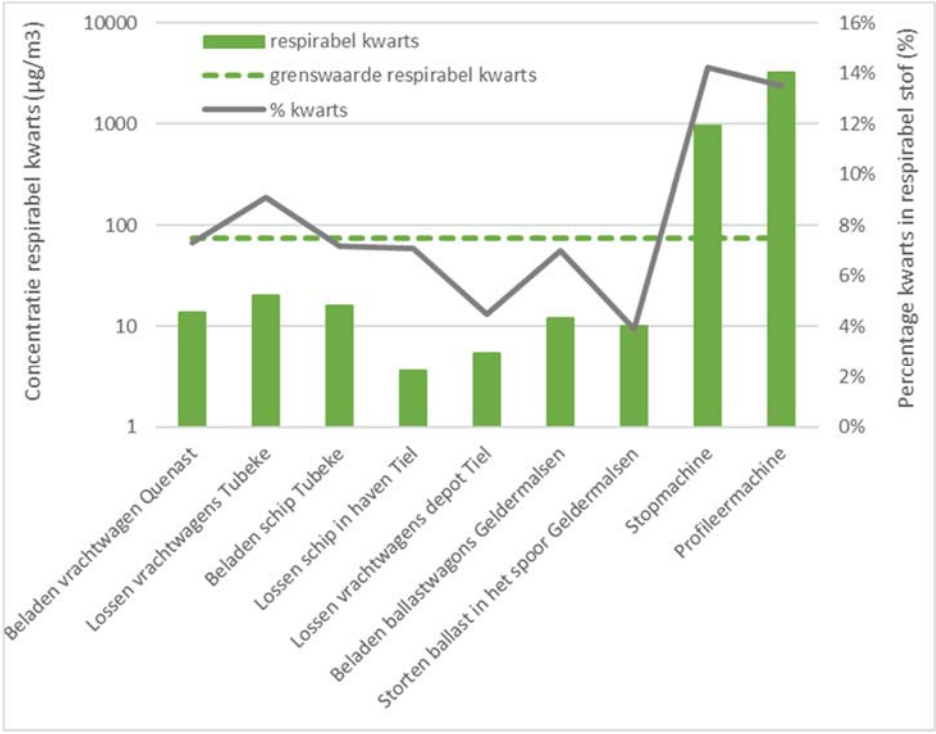
Tabel 12. Concentratie inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwarts, in ug/m^3, gemeten tijdens diverse handelingen met ballast gesteente

Activiteit / handeling	**Inhaleerbaar stof** (mg/m^3) **2)**	**Respirabel stof** (mg/m^3) **2)**	**Respirabel kwarts** (µg/m^3) **1)**
Beladen vrachtwagen Quenast	1,6 ± 0,03	0,19 ± 0,06	14 (7,3%)
Lossen vrachtwagens Tubeke	1,2 ± 0,5	0,22 ± 0,05	20 (9,1%)
Beladen schip Tubeke	1,1 ± 0,2	0,22 ± 0,03	16 (7,2%)
Lossen schip in haven Tiel	0,27 ± 0,12	0,05 ± 0,01	3,6 (7,1%)
Lossen vrachtwagens depot Tiel	1,6 ± 0,1	0,12 ± 0,10	5,5 (4,5%)
Beladen ballastwagons Geldermalsen	1,1 ± 0,4	0,17 ± 0,03	12 (7,0%)
Storten ballast in het spoor Geldermalsen	4,8 ± 3,0	0,26 ± 0,1	10 (3,9%)
Stopmachine	150 ± 97	6,8 ± 4,2	970 (14%)
Profileermachine	430 ± 450	24 ± 31	3200 (13%)

Opmerkingen bij Tabel 12:
1) De getallen tussen haakjes geven het percentage kwarts in respirabel stof
2) Voor inhaleerbaar- en respirabel stof zijn ook de standaarddeviaties (±) weergegeven op basis van de duplometing



Afbeelding 21. Concentratie inhaleerbaar en respirabel stof, in mg/m^3, gemeten tijdens de diverse handelingen met ballast gesteente.



Afbeelding 22. Concentratie respirabel kwarts, in µg/m^3, inclusief percentage kwarts in respirabel stof, gemeten tijdens diverse handelingen met ballast gesteente.

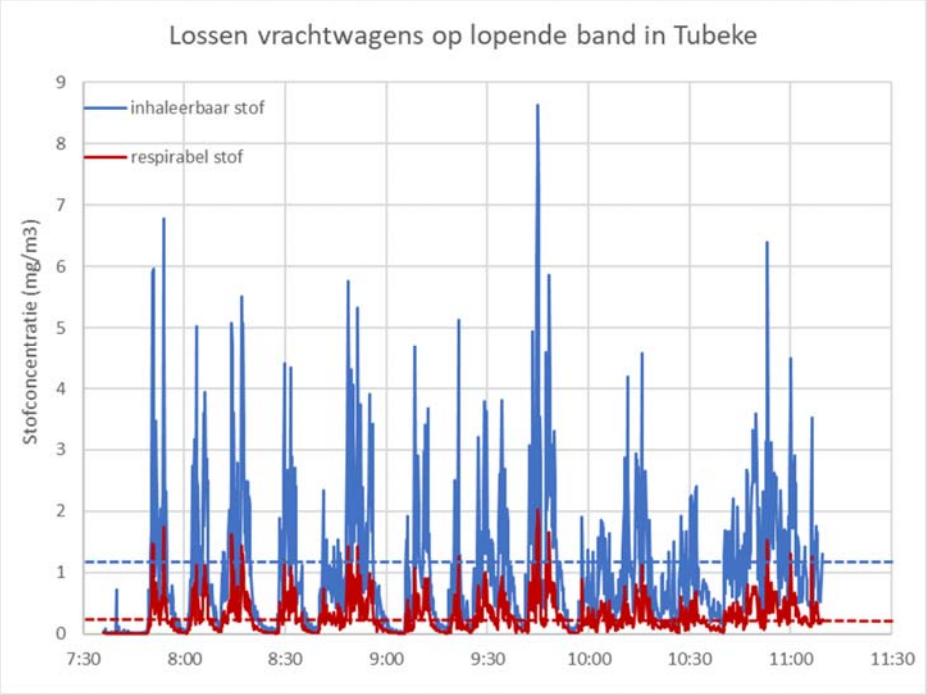
De nu gemeten concentraties met het porfier gesteente uit Quenast tijdens het storten in het spoor komen redelijk overeen met de in 1998 door TNO gemeten concentraties aan inhaleerbaar stof en respirabel kwarts (Moons, 1998). Deze metingen zijn net zoals nu al lopend in de stofwolk op ca. 0,5 - 1 mtr van de rails uitgevoerd. Gemeten concentraties respirabel stof waren toen: 11,4 – 13,4 mg/m^3 voor granietgneis, 2,1 – 7,5 mg/m^3 voor porfier en 15,0 – 26,9 mg/m^3 voor een mengsel van basalt en granietgneis. Ook de respirabele kwartsconcentraties zijn toen op dezelfde manier bepaald als nu. De resultaten toen lagen wel iets hoger dan nu: 64 - 70 µg/m^3 voor granietgneis, 67 – 83 µg/m^3 voor porfier en 96 – 199 µg/m^3 voor basalt/granietgneis. De vochtigheid van het basalt/granietgneis mengsel lag toen iets lager (ca. 20%) wat de hogere gemeten concentraties kan verklaren.

De activiteiten met de stop- en profileermachine zijn continu waarbij ook voortdurend stof wordt geemiteerd. Bij de overige transportgerelateerde handelingen gaat het steeds om laad- en losactiviteiten met een discontinu karakter. De stof- en kwartsmetingen geven hierbij het tijdsgemiddelde resultaat over de gehele periode van een bepaalde activiteit. Om ook inzicht te krijgen in piekemissies is tijdens het lossen van vrachtwagens op een lopende band in Tubeke met een stofmonitor (APS) gemeten. In Afbeelding 23 zijn de inhaleerbaar en respirabel stofconcentraties gemeten met de APS stofmonitor schematisch weergegeven. Hierbij zijn als vergelijking met een stippellijn ook de tijdsgemiddelde waarden weergegeven op basis van de gravimetrische bepalingen.

Voor inhaleerbaar stof is de tijdsgemiddelde concentratie 1,2 mg/m^3, terwijl de maximale 15 minuten piekwaarde 2,0 mg/m^3 is. Voor respirabel stof is dat 0,22

mg/m^3 (tijdsgemiddeld) en 1,0 mg/m^3 (15 minuten piekwaarde). Voor respirabel kwarts kan een 15 minuten piekwaarde van 90 µg/m^3 worden afgeleid op basis van de respirabel stof concentratie en het percentage kwarts (Tabel 12). Dit betekent dat voor inhaleerbaar en respirabel stof de 15 minuten grenswaarden vermoedelijk niet worden overschreden tijdens de diverse transporthandelingen (laden en lossen). Voor kwarts bestaat er geen grenswaarde voor kortdurende blootstelling; de 8 uurs gemiddelde grenswaarde voor respirabel kwarts zou wel tijdelijk kunnen worden overschreden.

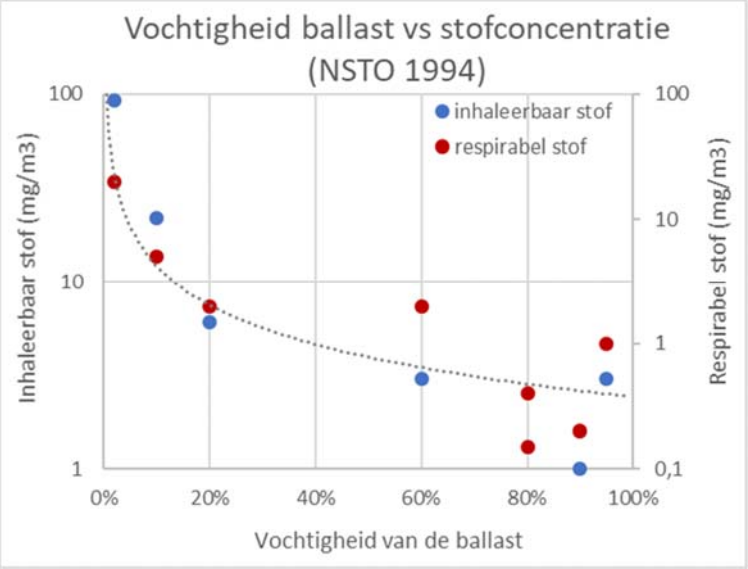
De simulatiemetingen hebben al laten zien dat de emissie van stof en kwarts voor een (belangrijk) deel wordt bepaald door het percentage breekstof (fines) in het gesteente. Door een halvering van het percentage breekstof (fines) kan de stof- en kwartsemissie met ca. 50% worden teruggebracht. Het wassen van het gesteente op de productie-locatie heeft dan ook aantoonbaar positief effect op de emissie van stof en kwarts in de lucht. Nog meer dan het percentage breekstof is ook het vochtgehalte van het gesteente een belangrijke factor bij het omlaag brengen van de stof- en kwartsemissie. Binnen TNO wordt voor de schatting van beroepsmatige blootstelling aan poedervormige materialen gebruik gemaakt van het zogenaamde “Advanced Reach Tool” (ART). Dit is een mechanistisch model, gebasseerd op diverse praktijkmetingen tijdens verschillende handelingen onder wisselende omstandigheden.



Afbeelding 23. Variatie in de concentratie inhaleerbaar en respirabel stof, in µg/m^3, tijdens het lossen van vrachtwagen op de lopende band in Tubeke, gemeten met een fijn stof monitor. De stippellijnen geven de tijdsgemiddelde gravimetrisch waarden aan over de gehele periode.

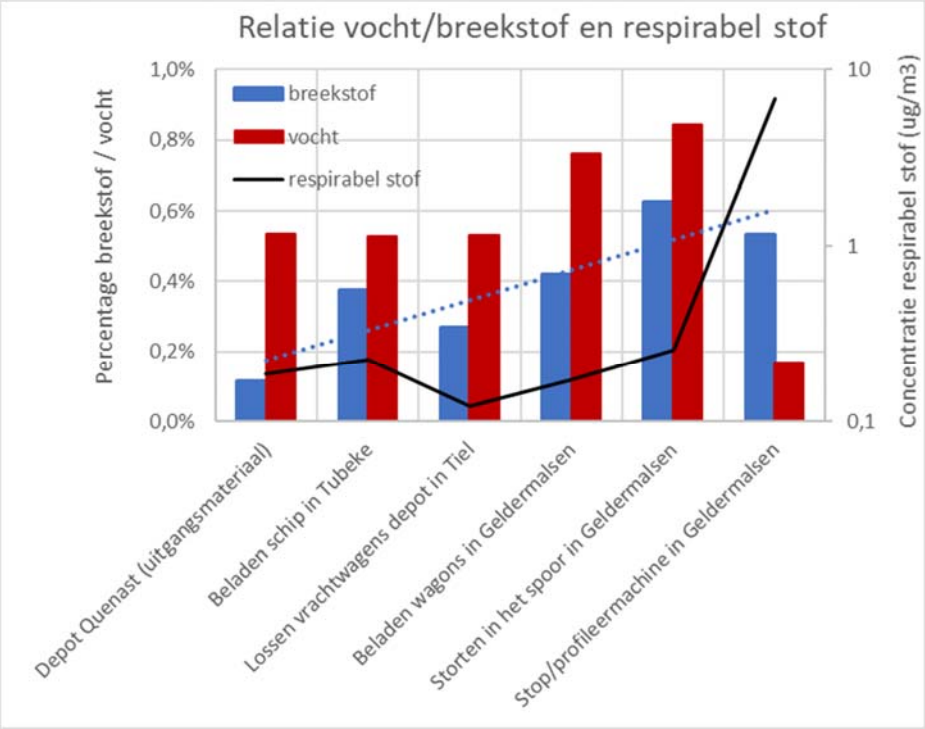
Bij het schatten van de emissie en blootstelling aan (inhaleerbaar) stof gaat het ART-model er vanuit dat wanneer het vochtgehalte van het product groter is dan 5%, de potentie voor stofemissie met 90% wordt gereduceerd (factor 10 lager) in

vergelijking tot het werken met een droog product. Wanneer het vochtgehalte van het product >10% is, wordt deze reductie zelfs 99% (factor 100 lager). Deze reductiefactoren komen goed overeen met het onderzoek dat in 1994 is uitgevoerd door NS Technisch Onderzoek, waarbij stof- en kwartsconcentratiemetingen in de lucht zijn uitgevoerd bij het lossen van basalt, porfier en granietgneis in het spoor (NSTO, 1994). De vochtigheid van het ballastmateriaal is toen visueel ingeschat, waarbij deze is uitgedrukt in het percentage van de stenen dat visueel nat was. De resultaten van dit onderzoek zijn samengevat in Afbeelding 24, waarbij de concentraties aan inhaleerbaar- en respirabel stof zijn uitgezet tegen de vochtigheid van het ballastmateriaal.



Afbeelding 24. Correlatiediagram van de concentraties aan inhaleerbaar- en respirabel stof bij oplopende vochtigheid van het ballastmateriaal, tijdens het storten in het spoor, gemeten door NS Technisch Onderzoek in 1994.

Op basis van de metingen door TNO is in Afbeelding 25 de relatie tussen het percentage breekstof (fines), het vochtgehalte (%) en de gemeten concentratie aan respirabel stof schematisch weergegeven. Hieruit blijkt dat tijdens de transporthandelingen het percentage breekstof (fines) steeds verder toeneemt (met ca. 0,1% per handeling). Dit wordt geillustreerd door de omhoog lopende gestippelde blauwe correlatielijn. Uitzondering hierop is het geloste materiaal dat in een tijdeljk depot in Tiel is gezet; dit gesteente blijkt minder breekstof te bevatten dan bij het beladen van het schip in Tubeke. Enerzijds moet rekening worden gehouden met een zekere variantie in de monsterneming; het percentage breekstof zal niet op ieder punt hezelfde zijn. Echter, een belangrijke oorzaak voor de “terugval” in het percentage breekstof (fines) is het feit dat er tijdens het lossen van het schip in Tiel enorme hoeveelheden water over de ballast zijn uitgegooid. Dit heeft er waarschijnlijk voor gezorgd dat een deel van het breekstof met het water is weggespoeld. Het “gewassen” materiaal is daarna in depot gestort en bemonsterd.



Afbeelding 25. Het vochtgehalte en percentage breekstof (<63µm) van de ballast gesteente na diverse handelingen en de concentratie respirabel stof, in µg/m^3, gemeten tijdens deze handelingen.

Voorafgaand aan alle laad- en losactiviteiten is het materiaal bevochtigd. In Quenast is het materiaal vlak voor het beladen van de vrachtwagens gewassen, waarna de vrachtwagens direct naar Tubeke zijn gereden. Tijdens het lossen van de vrachtwagens en het beladen van het schip in Tubeke was het materiaal zichtbaar nog vochtig. Dit blijkt ook uit de gemeten vochtgehalten in Quenast en Tubeke van ca. 0,5%. Na aankomst van het schip in Tiel is het materiaal voorafgaand aan het lossen in vrachtwagens gespoeld met een overschot aan water, waarna dit natte materiaal direct naar het tijdelijk depot in Tiel is gereden. Het vochtgehalte van dit in depot gezette materiaal is ook ca. 0,5%.
Vanuit een ander tijdelijk depot in Geldermalsen is het materiaal voorafgaand aan overslag in ballastwagons nogmaals besproeid met veel water door middel van een giertank. Het vochtgehalte van het materiaal in de ballastwagons, direct gemeten na het beladen, ligt op ca. 0,8%. Dit materiaal heeft vervolgens in de avond ca. 5 uur in de ballastwagons gelegen, waarna het ‘s nachts is gestort in het baanvak. Het vochtgehalte van het materiaal in het baanvak bleek nogmaals ca. 0.8% te zijn, wat betekent dat vrijwel geen verdamping heeft plaatsgevonden in de avond. Echter, net zoals bij het percentage breekstof moet ook bij het vochtgehalte rekening worden gehouden met een zekere variantie (spreiding) als gevolg van ‘lokale’ verschillen in de partij; het percentage vocht zal niet op ieder punt hezelfde zijn.

Het gestorte ballastmateriaal heeft vervolgens ca. 1½ dag in het baanvak gelegen bij droog en half bewolkt weer waarna het verder is behandeld door de stop- en profileermachine. Na deze activiteiten is het vochtgehalte van het materiaal in het

baanvak nogmaals gemeten en bleek slechts ca. 0,2% te zijn. De reductie van het vochtgehalte is deels door verdamping veroorzaakt maar kan ook door de activiteiten van de stop- en profileermachine zijn veroorzaakt, aangezien daarbij plaatselijk nieuw droog ballastmateriaal is bijgestort. Het is niet te achterhalen of dit bijgestorte materiaal ook van Quenast afkomstig is.

In Afbeelding 25 is ook een correlatie zichtbaar tussen de concentratie respirabel stof en het percentage breekstof (fines) en vocht. Dat wil zeggen, meer breekstof en/of minder vocht heeft als consequentie dat de concentratie respirabel stof toeneemt. Aangezien beide factoren (breekstof en vocht) tegelijkertijd inwerken op de concentratie respirabel stof is niet te achterhalen wat het individuele effect is van de afzonderlijke factoren. De correlatie in Afbeelding 25 voor respirabel stof geldt ook voor inhaleerbaar stof en respirabel kwarts. Ook hiervoor geldt dat de conentratie toeneemt naarmate het percentage breekstof toeneemt en het vochtgehalte afneemt. Alhoewel de activiteiten niet exact vergelijkbaar zijn en ook het vochtgehalte van de ballast enigszins varieert kan met enige voorzichtheid worden gesteld dat bij een verdubbeling van het percentage breekstof de gemeten respirabel stof en -kwartsconcentraties een factor 1½ - 2 toenemen. Voor inhaleerbaar stof is het effect niet goed zichtbaar.

Bij de eerste drie meetpunten (Quenast, Tubeke en Tiel) is het vochtgehalte redelijk constant; uit deze meetpunten blijkt dat de concentratie respirabel stof redelijk correleert met het percentage breekstof (fines). Wel is de concentratie respirabel stof in Quenast in verhouding met de andere meetpunten vrij hoog. Dit kan worden verklaard door een mogelijke hoge bijdrage van de achtergrondconcentratie op de steengroeve in Quenast, veroorzaakt door de stoffige ondergrond in combinatie met rondrijdende vrachtwagens en shovels. Opgemerkt dient te worden dat er regelmatig sproeiwagens over het terrein rijden om deze resuspensie van stof tegen te gaan.

Bij de meetpunten ‘Tiel’, ‘beladen wagons Geldermalsen’ en ‘storten in het spoor Geldermalsen’ loopt het percentage breekstof (fines), het vochtgehalte en de concentratie respirabel stof steeds verder op. Aan de hand van deze gegevens zou ten onrechte kunnen worden verondersteld dat het percentage breekstof een grotere invloed heeft op de stofconcentratie dan het vochtgehalte. Deze conclusie is echter te voorbarig aangezien de meetcondities (afstand tot de emissiebron en weersomstandigheden) niet gelijk zijn, maar wel een belangrijke rol spelen.

Wat de laatste twee meetpunten (storten in het spoor Geldermalsen en stop- en profileermachine) wel duidelijk maken is dat het vochtgehalte een grote invloed heeft op de respirabel stofconcentratie. Uit de meetresultaten blijkt dat de stof- en respirabel kwartsconcentratie een factor 10 – 100 hoger is als het materiaal niet wordt bevochtigd voorafgaand aan de handelingen. Bij deze metingen op het spoor waren de meetcondities vergelijkbaar, echter onduidelijk is of de activiteiten (storten, verdichten, profileren) vergelijkbaar zijn.

De door TNO gemeten stofconcentraties tijdens het storten in het spoor in Geldermalsen komen goed overeen met de in 1994 door NSTO gemeten concentraties tijdens het storten van basalt, porfier en granietgneis. Wanneer de stenen voldoende vochtig zijn blijven de stofconcentraties laag en zullen de grenswaarden niet worden overschreden. Bij een directe vergelijking van de

resultaten moet er mee rekening worden gehouden dat het “vochtgehalte” in het onderzoek van TNO (Afbeelding 25) niet één op één kan worden vergeleken met de “vochtigheid” van het onderzoek van NSTO in 1994 (Afbeelding 24). Het vochtgehalte is daadwerkelijk gemeten en is uitgedrukt in het massapercentage vocht in het ballastmateriaal, terwijl de vochtigheid een inschatting is op basis van het percentage stenen dat visueel nat is. Een kwantitiatieve relatie tussen deze twee verschillende termen is moeilijk te maken. Wel blijkt uit visuele observaties van TNO tijdens de metingen dat de stenen tijdens het lossen vrijwel allemaal nat waren (vochtigheid >90%).

In 1995 is door NS Technisch onderzoek nog een kleiner aanvullend onderzoek uitgevoerd naar het vrijkomen van stof bij het lossen van “gewassen” en “niet gewassen” porfier (NSTO, 1995). Dit onderzoek bevestigt het beeld van het huidige onderzoek, namelijk dat het percentage breekstof een effect heeft op de stofconcentratie. In dit onderzoek bleek dat bij een reductie van het percentage breekstof (fractie <1mm) met een factor 2½ (van 0,34% naar 0,13%) de respirabel stofconcentratie met ruim 30% werd verminderd (van 1,9 mg/m^3 naar 1,3 mg/m^3). Deze reductie is iets minder dan de door TNO bepaalde reductiefactor op basis van de simulatietesten (Afbeelding 14), maar vergelijkbaar met de reductiefactor die op basis van de praktijkmetingen is geschat. Er is wel een verschil in de definitie van breekstof in beide studies. In het TNO onderzoek is voor breekstof de fractie < 63µm genomen en in de metingen uit 1995 is de fractie < 1mm gebruikt. Dit grovere breekstof heeft waarschijnljk minder effect op de respirabel stofconcentratie.

6.4 Inzicht in stofemissie van andere typen gesteenten

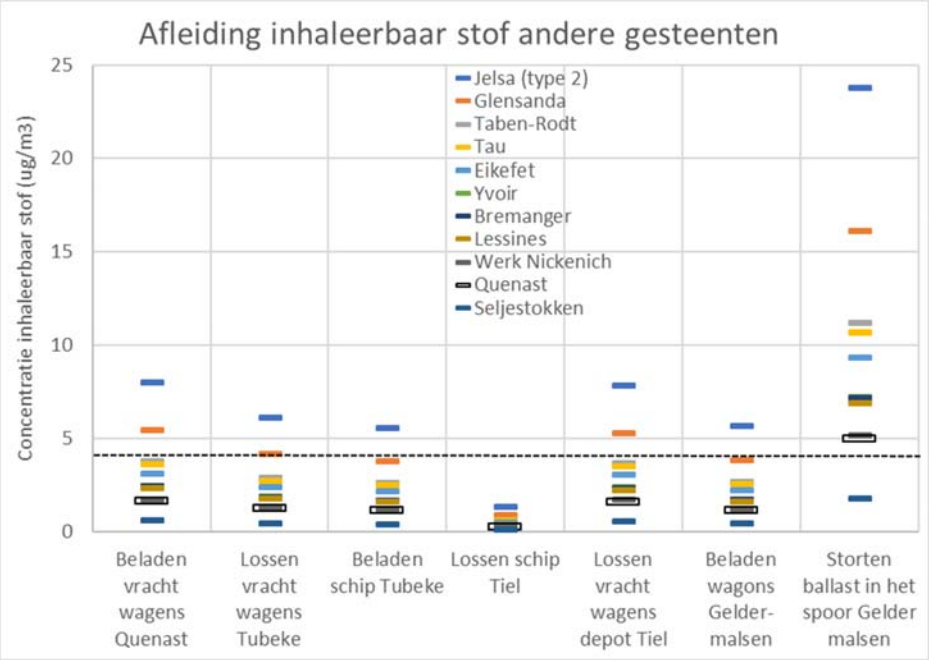
Om enig inzicht te krijgen in de potentiele emissie van inhaleerbaar- en respirabel stof en respirabel kwarts tijdens dezelfde handelingen met andere typen gesteenten zijn op basis van de resultaten van de simulatiemetingen hiervoor concentratiewaarden afgeleid. Hierbij is de onderstaande formule gebruikt, waarbij ‘C’ de concentratie aan inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwarts is:

$$Cgesteente\ praktijk\ = \frac{Cgesteente\ simulatie}{Cporfier\ simulatie}\ x\ \frac{\%breekstof\ gesteente}{\%breekstof\ porfier}\ x\ Cporfier\ praktijk$$

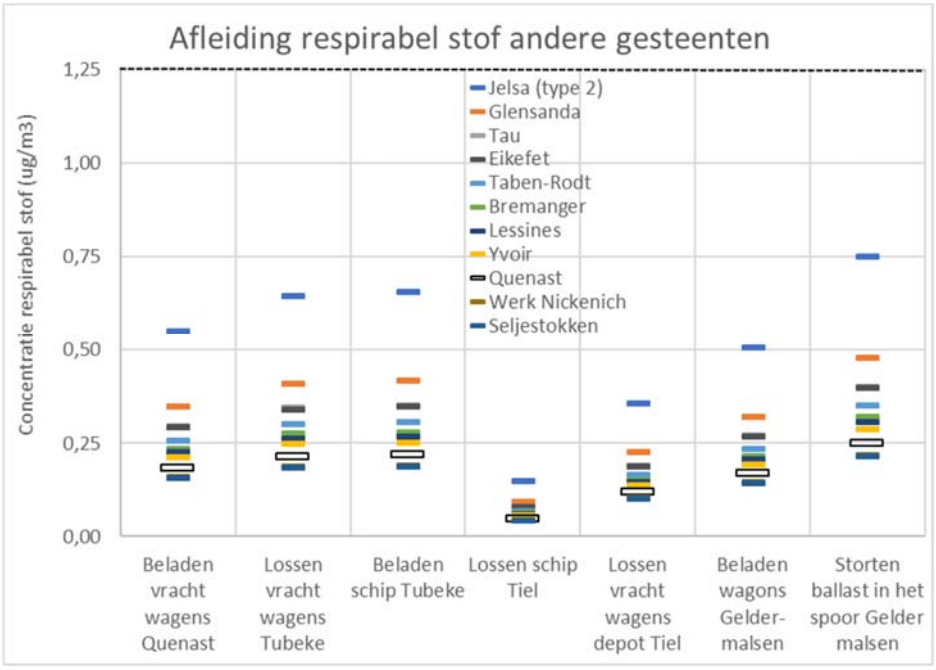
De afgeleide concentraties moeten worden beschouwd als indicatieve waarden, waarbij rekening moet worden gehouden met een zekere spreiding (geschatte standaarddeviatie ca. 30%). Daarnaast zullen de handelingen bij de andere typen gesteenten vaak niet hetzelfde zijn, aangezien de steengroeven zich bevinden op andere locaties, waarbij mogelijk andere transportmiddelen worden gebruikt. In Afbeelding 26 tot en met 28 zijn de afgeleide concentraties aan inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwarts schematisch weergegeven. De werkelijk gemeten concentraties met het porfier gesteente uit Quenast zijn als bredere (doorzichtige) balkjes in de figuren herkenbaar gemaakt. De andere gesteenten zijn met verschillende kleuren weergegeven. De volgorde van de steengroeven in de legenda komt overeen met de volgorde in de hoogte van de afgeleide concentraties. Bijvoorbeeld, de steengroeve met de hoogste concentraties wordt als eerste genoemd in de legenda. De resultaten van de stop- en profileermachine zijn niet opgenomen in deze figuren aangezien bij deze activiteiten bij alle typen gesteenten de concentraties aan inhaleerbaar stof, respirabel stof en respirabel kwarts de grenswaarden duidelijk worden overschreden.

Uit de resultaten blijkt dat bij handelingen met de andere gesteenten de afgeleide (potentiele) stof- en kwartsconcentraties over het algemeen iets hoger liggen dan het porfiergesteente uit Quenast, met uitzondering van de gesteenten uit Seljestokken en Werk Nickenich. Voor respirabel stof liggen de afgeleide concentraties voor alle typen gesteenten ruim onder de grenswaarde van 1,25 mg/m^3. Bij vrijwel alle handelingen met de gesteenten uit Jelsa en Glensanda komt dusdanig veel inhaleerbaar stof vrij dat de grenswaarde voor inhaleerbaar stof (4 mg/m^3) waarschijnlijk zal worden overschreden. Voor het granodioriet gesteente uit Jelsa moet hierbij worden opgemerkt dat de waarden betrekking hebben op het type 2 (20 – 40mm) gesteente.

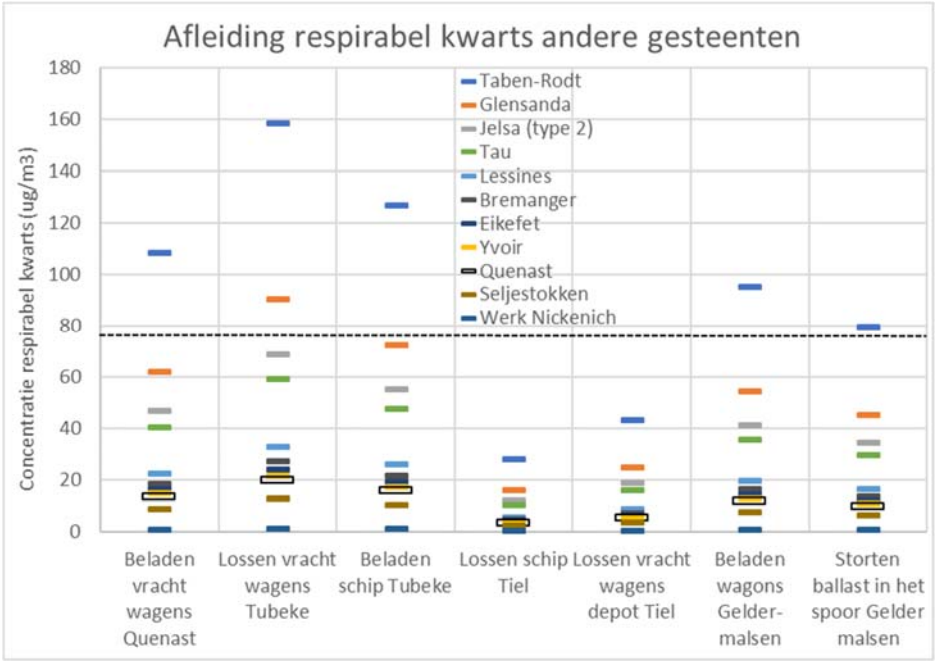
Bij het storten van de ballast in het spoor is het waarschijnlijk dat bij alle typen gesteente, met uitzondering van het kwartsiet gesteente uit Seljestokken, de grenswaarde voor inhaleerbaar stof zal worden overschreden. Bij handelingen met de meeste typen gesteente liggen de respirabel kwartsconcentraties onder de grenswaarde van 75 µg/m^3, met uitzondering van het kwartsiet gesteente uit Taben-Rodt en in mindere mate het graniet gesteente uit Glensanda. Bij praktijkhandelingen met het gesteente uit Taben-Rodt is het waarschijnlijk dat in veel gevallen de grenswaarde voor respirabel kwarts zal worden overschreden.



Afbeelding 26. De inhaleerbaar stofconcentraties voor de andere type gesteenten, in µg/m^3, afgeleid op basis van de simulatie experimenten aan de hand van vergelijking met het porfiergesteente uit Quenast (aangegeven met brede balkjes). De stippellijn is de grenswaarde voor inhaleerbaar stof (4 mg/m^3).



Afbeelding 27. De respirabel stofconcentraties voor de andere type gesteenten, in µg/m^3, afgeleid op basis van de simulatie experimenten aan de hand van vergelijking met het porfiergesteente uit Quenast (aangegeven met brede balkjes). De stippellijn is de grenswaarde voor respirabel stof (1,25 mg/m^3).



Afbeelding 28. De respirabel kwartsconcentraties voor de andere type gesteenten, in µg/m^3, afgeleid op basis van de simulatie experimenten aan de hand van vergelijking met het porfiergesteente uit Quenast (aangegeven met brede balkjes). De stippellijn is de grenswaarde voor respirabel kwarts (75 µg/m^3).

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Breekstof (fines)

Het op locatie wassen van de ballast kan het percentage breekstof drastisch reduceren. Van de gewassen ballast is het percentage ‘fines’ (fractie <63 µm) kleiner dan 0,4%; in de ongewassen ballast ligt dit percentage tussen de 0,4 – 1,3 %. Het percentage ‘fines’ van de gewassen ballast ligt daarmee onder de in de SPC00033 V005 gestelde eis van 0,5%. Uit de inspectie van de wasinstallaties op de steengroeven en verwerkingslocatie blijkt dat de afmeting en het aantal sproeiers per wasinstallatie varieert. Op basis van de gegevens blijkt dat het aantal sproeiers een gunstig effect heeft op de effectiviteit van de wassing en daarmee het percentage breekstof. Hierbij is nog geen rekening gehouden met de doorvoer van de ballast (ton/uur) en de hoeveelheid waswater (m^3/uur). Op basis van onderzoek in 1998 op de steengroeve in Quenast blijkt de hoeveelheid waswater ook een duidelijk positief effect te hebben op de hoeveelheid breekstof. Het toevoegen van een gelijke hoeveelheid waswater aan het ballast (ratio 1 :1) lijkt optimaal; bij toevoegen van nog meer waswater neemt het effect af.

Naast het type gesteente heeft ook het percentage breekstof (fines) een duidelijk effect op de emissie aan stof en respirabel kwarts (kristallijn silica) tijdens handelingen. Uit de simulatie experimenten met ongewassen en gewassen gesteente uit Tau (kwartsdioriet) en Quenast (porfier/kwartsmicrodioriet) blijkt dat door een halvering van het percentage ‘fines’ (fractie < 63µm) de emissie van inhaleerbaar- en respirabel stof en respirabel kwarts met een factor 2 wordt gereduceerd. Praktijkmetingen bevestigen dit beeld, alhoewel daar de reductie iets lager wordt geschat (factor 1½ - 2). Een goede wasinstallatie heeft dus, zoals verwacht, veel effect op de emissie van stof en respirabel kwarts tijdens handelingen met ballast.

7.2 Type gesteente

Ook het type gesteente heeft een duidelijk effect op de emissie van inhaleerbaar stof. Het effect op de emissie van respirabel stof is iets minder nadrukkelijk, maar zeker aanwezig. In grote lijnen zijn de gesteenten in drie groepen in te delen: (1) kwartsiet, (2) kwarts(micro)dioriet, granietgneis en basaniet en (3) granodioriet en graniet. Bij de simulatie experimenten met kwartsiet wordt de laagste stofemissie gemeten en bij granodioriet en graniet de hoogste stofemissie. Als kanttekening moet worden vermeld dat granodioriet is getest als type 2 gesteente, wat een negatieve invloed zou kunnen hebben op de stofontwikkeling. Binnen het kwartsiet gesteente is de steengroeve in Taben-Rodt duidelijk afwijkend en is wat betreft stofontwikkeling vergelijkbaar met de gesteenten in groep 2.

Alhoewel het type gesteente een effect heeft op de stofvorming is de invloed van de hardheid en slijtvastheid van het gesteente minimaal. Voor de inhaleerbare stoffractie is namelijk géén correlatie aangetoond met LA-waarden en micro-Deval waarden van de gesteenten. Alleen voor de respirabele stoffractie lijkt er een matige correlatie te zijn met de micro-Deval waarde van het ballastmateriaal.

Echter, wat meer opvalt is dat bij de slijtvastere gesteenten de vorming van respirabel stof juist lijkt toe te nemen. Dit zou betekenen dat de slijtvastheid van het gesteente een tegengesteld effect heeft op de vorming van vooral respirabel stof. De correlaties zijn echter matig zodat hier vooralsnog geen harde conclusies aan kunnen worden verbonden.

Voor de meeste typen gesteenten is de emissie van respirabel kwarts (kristallijn silica) vergelijkbaar. Bij twee typen gesteenten wordt duidelijk meer respirabel kwarts geëmitteerd, dit zijn het granietgesteente uit Glensanda en het kwartsietgesteente uit Taben-Rodt. Uit de petrografische beschrijving van deze typen gesteente blijkt dat daar duidelijk meer kwarts aanwezig is (≥ 70%) dan de overige typen gesteenten (< 55%) wat de hoge emissie aan respirabel kwarts tijdens de simulatie experimenten grotendeels verklaart.

7.3 Schadelijke componenten

Uitgezonderd kristallijn silica zijn in géén van de gesteenten schadelijke componenten (zoals vezels en nikkelhoudend mineralen) aangetroffen. Wel zijn vezelvormige silicadeeltjes aangetroffen, echter, over de extra nadelige effecten van deze vezels ten opzichte van granulaire kristallijne silicadeeltjes zijn geen gegevens bekend. Bekend is dat de genoemde schadelijke componenten sporadisch als (micro)verontreiniging in de gesteenten kunnen voorkomen. Aangezien TNO per steengroeve op één moment één monster heeft geanalyseerd dient het resultaat als indicatief te worden beschouwd.

7.4 Handelingen in de praktijk

Diverse emissiemetingen zijn uitgevoerd tijdens handelingen (voornamelijk storten) met het porfiergesteente uit Quenast. Voor al deze ‘transport’ handelingen, vanaf de steengroeve Quenast tot aan het spoor in Geldermalsen zijn de gemeten concentraties aan inhaleerbaar- en respirabel stof en respirabel kwarts (kristallijn silica) licht verhoogd maar blijven nog ruim onder de meest strenge grenswaarden binnen Europa. Ook de grenswaarden voor kortdurende blootstelling (15 minuten) aan inhaleerbaar en respirabel stof worden zeer waarschijnlijk niet overschreden.

Tijdens verdere handelingen met het ballast in het spoor (stopmachine en profileermachine) is wel een duidelijke verhoging te zien in de gemeten concentraties aan inhaleerbaar- en respirabel stof en respirabel kwarts, waarbij grenswaarden worden overschreden. Hierbij moet worden opgemerkt dat de metingen moeten worden beschouwd als ‘worst case’ omdat ze dicht op de kort durende handelingen zijn uitgevoerd. Voor een juiste toetsing aan grenswaarden, zullen blootstellingsmetingen bij werknemers moeten worden uitgevoerd bij verschillende activiteiten, waarbij de concentraties moeten worden omgerekend naar 8 uurs gemiddelde waarden op basis van een representatieve dagindeling.

Tijdens het transport van Quenast naar Geldermalsem is op diverse momenten het percentage breekstof (fines) in de ballast bepaald. Iedere extra handeling (voornamelijk storten) zorgt ervoor dat er meer breekstof ontstaat. Voor het porfiergesteente uit Quenast blijkt dat per handeling het percentage ‘fines’ (fractie <63 µm) met ca. 0,1% toeneemt.

Voorafgaand aan alle laad- en losactiviteiten van de ballast tijdens het transport van Quenast naar Geldermalsen is het materiaal bevochtigd. Het vochtgehalte van de ballast, op basis van steekproefsgewijze monsterneming, ligt tussen de 0,5 – 0,9 %. Zoals verwacht, blijkt ook op basis van deze metingen dat het bevochtigen van de ballast voorafgaand aan de handelingen een gunstig effect heeft op de emissie van inhaleerbaar- en respirabel stof en respirabel kwarts (kristallijn silica). Het is waarschijnlijk dat de hoge emissie van stof en respirabel kwarts tijdens de activiteiten met de stop- en profileermachine, mede te maken heeft met het lage vochtgehalte van het ballast (0,2%). Voorafgaand aan deze activiteiten is de ballast namelijk niet extra bevochtigd. Het is echter onduidelijk of het extra besproeien van de ballast zal resulteren in een dusdanige verlaging van de stofemissie dat grenswaarden niet meer worden overschreden.

Het gunstige effect van bevochtiging van het ballastmateriaal op de stofvorming is ook al een keer in 1994 onderzocht door NS Technisch Onderzoek. De vochtigheid van het ballastmateriaal is toen visueel ingeschat. Uit dit onderzoek kwam naar voren dat wanneer ca. 20% van de stenen visueel nat was de stofvorming met een factor 10 was gereduceerd; bij 90% was de stofreductie bijna een factor 100.

Voor de gesteenten uit alle overige steengroeven zijn stof- en respirabel kwartsconcentraties afgeleid voor dezelfde ‘transport’ handelingen als het gesteente uit Quenast. Hieruit blijkt dat bij handelingen met de andere gesteenten de afgeleide (potentiele) stof- en kwartsconcentraties over het algemeen iets hoger liggen dan het porfiergesteente uit Quenast, met uitzondering van de gesteenten uit Seljestokken en Werk Nickenich. In de meeste gevallen worden grenswaarden voor stof en kwarts niet overschreden.

Op de groeves (productielocaties) zullen, tijdens het beladen van transportmiddelen, de gehaltes aan stof en respirabel kwarts voor de meeste gesteenten onder de meest strenge grenswaarden binnen Europa blijven. Alleen voor de gesteenten uit Glensanda, Jelsa en Taben-Rodt is het mogelijk dat grenswaarden worden overschreden. Bij handelingen met de gesteenten uit Jelsa en Glensanda komt relatief veel inhaleerbaar stof vrij en zal de grenswaarde, ook tijdens de overige transporthandelingen, waarschijnlijk worden overschreden. Bij het storten van de ballast in het spoor is het waarschijnlijk dat bij alle typen gesteente, met uitzondering van het kwartsiet gesteente uit Seljestokken, de grenswaarde voor inhaleerbaar stof zal worden overschreden. Bij vrijwel alle praktijkhandelingen met het gesteente uit Taben-Rodt is het waarschijnlijk dat de grenswaarde voor respirabel kwarts zal worden overschreden.

7.5 Bronmaatregelen

Volgens de arbeidshygiënische strategie in de Arbowet is het belangrijk om eerst de gevaarbron (het type gesteente en het productieproces in de groeve) aan te pakken. ProRail voldoet deels aan deze verplichting door strenge eisen te stellen aan het percentage breekstof (fines). Vanuit het gezondheidsperspectief is het niet noodzakelijk om kwartshoudende gesteenten volledig uit te sluiten. Er dient wel te worden gewaarborgd dat blootstelling aan respirabel kwarts en stof tijdens handelingen (in de steengroeve) zoveel mogelijk wordt beperkt waarbij grenswaarden in géén geval mogen worden overschreden.

Om volledig te voldoen aan de verplichtingen in de Arbowet, is het selecteren van gesteenten op basis van (kwarts)stof vormende eigenschappen gewenst. Hierbij dient ook rekening te worden gehouden met duurzaamheid- en veiligheidsaspecten conform de SPC00033 V005. Gezien het feit dat bij handelingen met de gesteenten uit Glensanda, Jelsa en Taben-Rodt vermoedelijk grenswaarden worden overschreden is uitsluiting van deze gesteenten voor toepassing als ballast in het spoor wenselijk.

7.6 Aanbevelingen

Het percentage vocht en breekstof zijn belangrijke factoren bij de vorming van stof en kwarts. Om stofvorming te verminderen wordt aanbevolen om het percentage breekstof (fines) zo laag mogelijk te houden door middel van wassen op de productielocaties en het aantal handelingen met het ballastmateriaal tijdens transport te beperken. Daarnaast is het bevochtigen van het ballastmateriaal voorafgaand aan iedere handeling essentieel.

De verschillen in percentage breekstof tussen de gesteenten wordt voor een belangrijk deel bepaald door het ontwerp van de wasinstallatie: aantal sproeiers en de hoeveelheid waswater. Op de meeste productielocaties zijn verbeteringen mogelijk om het percentage breekstof (fines) nog verder terug te brengen. TNO heeft hierbij alleen gekeken naar de technische haalbaarheid los van eventuele economische aspecten.

Voor de meeste typen gesteente geldt dat, mits deze wordt gewassen en voorafgaand aan de ‘transport’ handelingen wordt bevochtigd, de vorming van stof en kwarts tijdens het laden en lossen beperkt zal zijn en vermoedelijk geen grenswaarden zullen worden overschreden. Voor een aantal gesteenten zullen grenswaarden voor stof en/of kwarts tijdens handelingen vermoedelijk wel worden overschreden: kwartsiet uit Taben-Rodt, graniet uit Glensanda en granodioriet uit Jelsa. In overeenstemming met de arbeidshygiënische strategie in de Arbowet wordt aanbevolen om als bronmaatregel deze typen gesteenten niet meer als ballast in het spoor toe te passen. Als aanvullende eis voor gecertificeerde steengroeven, zou een bovengrens aan het percentage kwarts kunnen worden ingesteld van 60%.

Het gehele transport vanaf de steengroeve tot aan toepassing in het spoor is voor het porfiergesteente uit Quenast in kaart gebracht. Andere typen gesteenten afkomstig van andere locaties worden ook als ballast gebruikt, waarbij transport op andere manieren plaatsvindt. Om de observaties en conclusies uit dit onderzoek te bevestigen wordt aanbevolen om voor minstens één ander type gesteente het transport en de stofvorming in kaart te brengen.

Gezien de grote stofemissie tijdens de activiteiten met de stop- en profileermachine wordt aanbevolen om het ballastbed in het spoor en de reserveballast in de machine voorafgaand aan het stabiliseren en profileren te besproeien/bevochtigen. Geadviseerd wordt om het effect van deze maatregel te onderzoeken met aanvullende stof- en kwartsmetingen.

8 Referenties

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

Cherrie, J., Brosseau, L., Donaldson, K. Low-Toxicity Dusts: Current Exposure Guidelines Are Not Sufficiently Protective, Ann. Occup. Hyg. 2013; 57(6): 685-91

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

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

NEN-ISO 14966. Ambient air - Determination of numerical concentration of inorganic fibrous particles - Scanning electron microscopy method. Nederlands normalisatie instituut (NEN).

NEN-EN 933-1. Beproevingsmethoden voor geometrische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 1: Bepaling van de korrelgrootteverdeling – Zeefmethode. Nederlands normalisatie instituut (NEN).

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

NEN-EN 689. Werkplekatmosfeer - Leidraad voor de beoordeling van de blootstelling bij inademing van chemische stoffen voor de vergelijking met de grenswaarden en de meetstrategie. Nederlands normalisatie instituut (NEN).

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

NIOSH 7602. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Silica, Crystalline by IR: Method 7602, Issue 2, 1994.

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

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

9 Ondertekening

Naam en adres van de opdrachtgever

ProRail
de heer A. Kappers
Postbus 2038
3500 GA Utrecht

Naam en functies van medewerkers

Therese Maarschalkerweerd
Marcel Moerman
Rienko de Jong
Bente ten Brug
Peter Tromp

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

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

Kwaliteitsborging

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

Datum waarop of tijdsbestek waarin het onderzoek heeft plaatsgehad

September 2019 – Oktober 2020

Naam en paraaf tweede lezer

T.J. Nijdam

Utrecht, 4 november 2020 TNO

Dr. J.E. Strijk
Research Manager

Drs. P.C. Tromp
Auteur

Bijlage A. Foto’s van de geteste typen gesteente

1 Eikefet (ongewassen)

2 Seljestokken (ongewassen)

3 Tau (ongewassen)

4 Jelsa (ongewassen)

5 Bremanger (gewassen)

6 Glensanda (ongewassen)

7 Taben-rodt (gewassen)

8 Werk Nickenich (ongewassen)

9 Lessines (gewassen)

10 Yvoir (gewassen)

12 Quenast (gewassen)

13 Tau (gewassen)

Bijlage B. Foto’s wasinstallaties op de steengroeven

Seljestokken: 1 wasser met 3 buizen x ca 4 sproeiers

Eikefet: 2 wassers, nadere inspectie niet mogelijk

Tau: 1 wasser met 5 buizen x 11 sproeiers

Jelsa: 1 wasser met 5 buizen x 4 sproeiers

Taben-rodt: 1 wasser met 6 buizen x 5 sproeiers

Werk-Nickenich: installatie, nadere inspectie niet mogelijk

Lessines: 1 wasser met 10 buizen x 6 sproeiers

Quenast: 2 wassers met respectievelijk 8 en 9 buizen x 8 sproeiers

Yvoir: 1 wasser, nadere inspectie niet mogelijk

Amsterdam (Bremanger/Glensanda): 1 wasser met 5 buizen x 5 sproeiers