Leeghwaterstraat 44
2628 CA Delft
Postbus 6012
2600 JA Delft

www.tno.nl

**TNO-rapport**

**TNO 2020 R11187 Rev. 1**

# Indicatief onderzoek naar effectiviteit van schermen op buitenterrassen

| | |
|---|---|
| Datum | 19 augustus 2020 |
| Auteur(s) | |
| Aantal pagina's | 30 |
| Aantal bijlagen | -- |
| Opdrachtgever | Ministerie van Economische Zaken en Klimaat |
| Projectnaam | Onderzoek effectiviteit schermen in horeca |
| Projectnummer | 060.45679 |

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

In aanvulling op TNO-rapport 2020 R10993 “Indicatief onderzoek naar effectiviteit van schermen in de horeca” d.d. 19 juni 2020 is TNO gevraagd een onderzoek uit te voeren naar het effect van het toepassen van schermen op de blootstelling aan kleine deeltjes (aerosolen) op buitenterrassen.

De hoofdvraag binnen het onderzoek is als volgt:

> *Wat is het effect van het toepassen van schermen op buitenterrassen op de blootstelling aan kleine deeltjes ten opzichte van een opstelling conform het 1,5 meter protocol?*

**Aanpak**

Indicatieve metingen van de verspreiding van op één plaats geëmitteerde deeltjes zijn uitgevoerd op een nagebouwd buitenterras van 5 x 8 meter. Dit buitenterras is aan drie zijden geheel open, is voorzien van een gesloten bovenzijde (puntdak) met de nok op 3,5 meter hoogte en met een “goot” hoogte van 2,1 meter en is met de lange zijde tegen een gebouw geplaatst, Figuur 1. Deze opstelling is met Koninklijke Horeca Nederland afgestemd.

Figuur 1. Overzichtsfoto buitenterras

Om een zo realistisch mogelijk terras te simuleren, zijn de metingen uitgevoerd in een volledig ingericht terras met tafels, stoelen, schermen en gesimuleerde warmteafgifte en omvang van personen. Een vergelijking is gemaakt tussen de blootstelling aan kleine deeltjes (aerosolen) bij een opstelling conform het 1,5 meter protocol en blootstelling bij een opstelling met schermen waarbij de afstand tussen gasten kleiner is dan 1,5 meter. Er zijn indicatieve metingen uitgevoerd bij twee verschillende opstellingen met schermen. De indicatieve metingen zijn uitgevoerd met “kleine” schermen zoals beschreven in TNO-rapport 2020 R10993. Deze schermen zijn 180 cm hoog, 185 cm breed en zijn tot 50 cm vanaf de vloer open.

**Resultaten voor deeltjes ≤ 5,0 µm**

Het gebruik van voldoende grote schermen samen met het verkleinen van de afstand tussen de gasten ten opzichte van het 1,5 meter protocol geeft op de meeste meetpunten een verlaging van de blootstelling aan aerosolen.

Door de windrichting en -snelheid in combinatie met de opstelling van de schermen kan op sommige meetpunten op een afstand groter dan 1,5 meter de blootstelling toenemen. Dit wordt zeer waarschijnlijk veroorzaakt door het lokale stromingspatroon dat wordt veroorzaakt door de windrichting en -snelheid in combinatie met de opstelling van de schermen.

De deeltjes groter dan 3,0 µm geven door de beperkte concentratie een onbetrouwbaar beeld. Daardoor kunnen aan de hand van dit onderzoek geen conclusies worden getrokken over blootstelling aan deze deeltjes.

De fluctuaties in richting en snelheid van de luchtstroming door de wind is bepalend voor de gemeten concentraties voor de deeltjes groter dan 0,5 µm en deeltjes groter dan 3,0 µm.

Na beëindiging van de deeltjesproductie wordt de baseline concentratie op alle meetpunten binnen 5 minuten weer bereikt. Uit metingen binnen in de horecagelegenheden, TNO-rapport 2020 R10993, blijkt dat bij geen van de situaties de baseline concentratie binnen 20 minuten wordt bereikt.

De snellere concentratieafname in de buitensituatie is een indicatie dat de blootstelling buiten lager zal zijn dan binnen. Dit is in lijn met de in TNO-rapport 2020 R10993 gegeven vooronderstelling dat de kans op besmetting via aerosolen op een buitenterras fors lager is dan binnen.

# Inhoudsopgave

**Samenvatting** ..... **2**

**1 Inleiding** ..... **5**

**2 Onderzoeksmethode** ..... **6**
2.1 Uitvoering indicatieve metingen ..... 6

**3 Opstellingen indicatieve metingen** ..... **8**
3.1 Buitenterras ..... 8

**4 Resultaten indicatieve metingen** ..... **11**
4.1 Buitenterras, opstelling A ..... 12
4.2 Buitenterras, opstelling B ..... 17
4.3 Buitenterras, opstelling B met lagere emissie ..... 22
4.4 Totaaloverzicht resultaten ..... 26

**5 Conclusies** ..... **28**
5.1 Effect van de inzet van schermen op blootstelling aan aerosolen (deeltjes kleiner dan 5,0 µm) ..... 28
5.2 Effect van hersteltijd na emissie op blootstelling aan aerosolen (deeltjes kleiner dan 5,0 µm) ..... 28

**6 Literatuur** ..... **29**

**7 Ondertekening** ..... **30**

# 1 Inleiding

De minister van Justitie en Veiligheid heeft in aanvulling op TNO-rapport 2020 R10993 “Indicatief onderzoek naar effectiviteit van schermen in de horeca” d.d. 19 juni 2020 aan TNO gevraagd een aanvullend onderzoek uit te voeren naar het effect van het toepassen van schermen met betrekking tot de blootstelling aan kleine deeltjes (aerosolen) op buitenterrassen.

De hoofdvraag binnen het onderzoek is als volgt:

> *Wat is het effect van het toepassen van schermen op buitenterrassen op de blootstelling aan kleine deeltjes ten opzichte van een opstelling conform het 1,5 meter protocol?*

Binnen de beschikbare tijd voor het onderzoek was het niet mogelijk om een groot en uitgebreid onderzoek uit te voeren. Er is besloten om een representatief en met Koninklijke Horeca Nederland afgestemd buitenterras na te bouwen. Het buitenterras had een afmeting van 5 x 8 meter en was aan de bovenzijde gesloten (puntdak) met de nok op 3,5 meter hoogte en het laagste punt op 2,1 meter hoogte. Zoals geadviseerd in TNO-rapport 2020 R10993 was dit terras aan drie zijden geheel open. Het was met de lange zijde tegen een gebouw geplaatst.

Gezien de omvang van het onderzoek moeten de resultaten worden gezien als indicatief; ze hebben alleen betrekking op de geteste situatie met de specifieke schermen en opstellingen. Meer onderzoek is nodig om algemeen van toepassing zijnde conclusies te kunnen trekken. Het indicatieve onderzoek heeft plaatsgevonden met twee verschillende opstellingen van schermen op 2 en 3 juli 2020.

Hoofdstuk 2 licht de onderzoeksmethode toe. Hoofdstuk 3 gaat in op de opstelling waarin indicatieve metingen zijn uitgevoerd; hoofdstuk 4 geeft daarvan de resultaten. Tenslotte geeft hoofdstuk 5 de conclusies. Literatuurverwijzingen zijn opgenomen in hoofdstuk 6.

# 2 Onderzoeksmethode

## 2.1 Uitvoering indicatieve metingen

De metingen zijn uitgevoerd op een nagebouwd buitenterras waarbij de opstelling conform het 1,5 meter protocol alsmede de twee verschillende opstellingen met schermen met Koninklijke Horeca Nederland zijn afgestemd. Om een realistische situatie te simuleren waarin ook de effecten zijn meegenomen van de schermen op het stromingspatroon van de lucht op het terras, was het van belang om de metingen uit te voeren in een volledig ingericht deel van een buitenterras.

*Indicatieve metingen*
Uitgangspunt bij het onderzoek is de vergelijking van de situatie (deeltjesconcentraties) met schermen t.o.v. een opstelling volgens het 1,5 meter protocol zonder schermen. Op basis van het protocol voor de horeca geldt voor deze afstand van 1,5 meter de afstand van “neus tot neus”.

Om de verspreiding van aerosolen onder verschillende omstandigheden vast te stellen, zijn op een gedefinieerde plaats aerosolen geëmitteerd/verspreid op de gemiddelde ademhoogte van de gasten, ca. 115 cm vanaf de vloer. De emissie van aerosolen heeft continu plaatsgevonden met een richting en snelheid die representatief zijn voor spreken: horizontaal met een uittredesnelheid van ca. 2 m/s in de richting van de tafel en met een constante volumestroom van 12,4 l/min.[1,2] Dit is 1,2 l/min hoger dan in TNO-rapport 2020 R10993 is aangehouden. Hiervoor is gekozen om bij de luchtstroming in de buitensituatie voldoende boven de baseline concentratie uit te kunnen komen. Deze luchtstroom werd verwarmd tot 33 ± 2°C om daarmee de temperatuur van de uitgeademde lucht te benaderen.[2] De buitentemperatuur varieerde tijdens de metingen van 18 tot 21°C (bron: KNMI uurlijkse metingen op locaties Rotterdam en Voorschoten). De gekozen luchthoeveelheid en -snelheid komen overeen met de gemiddelde luchtstroom die optreedt tijdens een intensief gesprek. Dit is een vereenvoudiging van de werkelijke situatie, waarbij deze stroom intermitterend is.

De deeltjesgrootte die vrijkomt bij spreken kan volgens recent onderzoek worden onderverdeeld in deeltjescategorieën tussen 1-10 µm en tussen 100-1000 µm.[3] Ander onderzoek geeft ook twee categorieën deeltjesgroottes aan: 0,25 tot 1,0 µm voor spreken en normale ademhaling en groter dan 2,5 µm voor deeltjes waarin erfelijk materiaal (RNA) van SARS-CoV-2 is aangetroffen.[4–6]
De aerosol generator produceert aerosolen met een afmeting van 0,2 µm tot ca. 5 µm. De met de generator gegenereerde deeltjesgrootte komt grotendeels overeen met de categorieën van de deeltjes die vrijkomen bij spreken en normale ademhaling. Deeltjes ≥ 5 µm konden in deze testopstelling niet worden gegenereerd, zodat hiervoor de gemeten concentraties nauwelijks boven de achtergrondconcentratie uitkomen (baseline) en daardoor een onbetrouwbaar beeld geven. Daarbij vallen deze deeltjes buiten de hier aangehouden definitie van aerosol, want er is van uitgegaan dat deeltjes ≥ 5 µm niet volledig airborne zijn.[7]
De hoeveelheid geëmitteerde aerosolen overstijgt de werkelijke hoeveelheid uitgeademde deeltjes. Hiervoor is gekozen om een betrouwbare deeltjestelling (meting) te kunnen verrichten en ruim boven de baseline concentratie (achtergrondconcentratie) uit te komen.

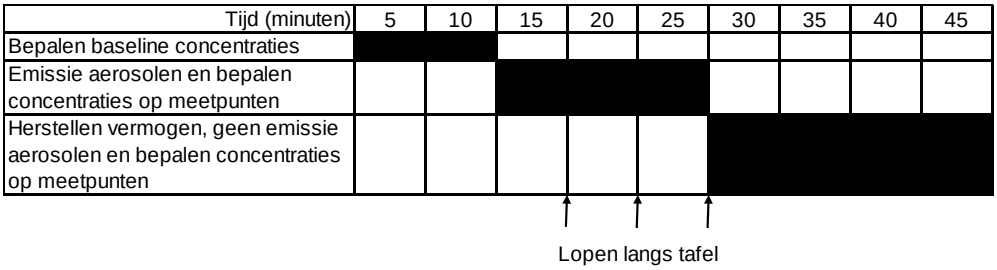
Na de meetseries is een laatste meting uitgevoerd met minder geëmitteerde aerosolen, representatief voor spreken. Deze meting diende als vergelijking met de resultaten voor de hogere emissie, als zou blijken dat de concentratie voldoende boven de baseline uitkwam.

Het luchtstromingspatroon in de ruimte wordt in de praktijk beïnvloed door de warmteproductie van gasten. Om dit te simuleren, wordt gebruik gemaakt van warmtebronnen van 80 Watt.[8] Deze zijn verdeeld over twee dozen die elk 40 watt warmte produceren met afmetingen die overeenkomen met een gemiddeld persoon.[8] Er zijn zes van deze warmtebronnen ingezet bij:
- het emissiepunt;
- de tafelgast het dichtst bij de emissiebron;
- op de 4 meetlocaties.

Tijdens een deel van de metingen is 3 maal met een interval van 5 minuten rustig over het gangpad tussen de tafels gelopen. Dit om de bewegingen van het personeel te simuleren, Figuur 2.

De deeltjesconcentratie is met deeltjestellers gelijktijdig gemeten op de vastgestelde (4) plaatsen zowel in de situatie zonder als met de schermen, (zie hoofdstuk 3 voor de opstellingen). Op deze wijze kan niet alleen de verspreiding van de geëmitteerde aerosolen worden vastgesteld, maar ook het effect van de schermen daarop. De blootstelling in de situatie met het 1,5 meter protocol is vergeleken met de resultaten van de opstelling met schermen. Zo kon worden afgeleid of de situatie met schermen waarbij de afstand minder is dan 1,5 meter, tot een gelijkwaardige of lagere blootstelling (tijd maal concentratie) heeft geleid dan onder het 1,5 meter protocol.

De meethoogte komt overeen met de ademzone van een op een stoel zittende gast, deze bedraagt 115 cm hoogte vanaf de vloer. De meetcyclus is weergegeven in Figuur *2*.




*Figuur 2. Meetcyclus*

Per situatie is deze meetcyclus achtereenvolgens 3 maal uitgevoerd, dus driemaal voor de situatie met de opstelling conform het 1,5 meter protocol en driemaal met de schermen. Per cyclus is de toename van de concentratie t.o.v. de baseline bepaald en voor de drie metingen gemiddeld. Ook de baseline concentratie van de drie metingen is gemiddeld waarbij de gemiddelde toename vervolgens is opgeteld.

# 3 Opstellingen indicatieve metingen

De tijdens de meting gehanteerde opstellingen zijn in dit hoofdstuk beschreven. Dit betreft zowel de opstelling volgens het 1,5 meter protocol als de aangepaste opstelling met schermen.

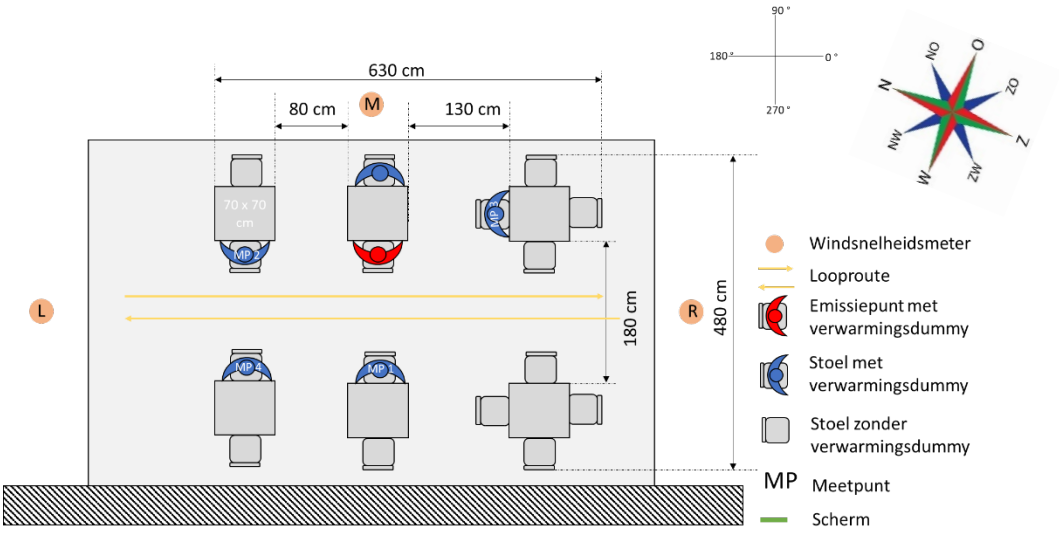
## 3.1 Buitenterras

De afmetingen van het buitenterras met partytent waren 5 x 8 meter. De tent was aan de bovenzijde gesloten (puntdak) met de nok op 3,5 meter hoogte en met een “goot” hoogte van 2,1 meter. Het buitenterras was voorzien van 6 tafels en 16 stoelen. De opstelling voor het 1,5 meter protocol is weergegeven in Figuur 3.

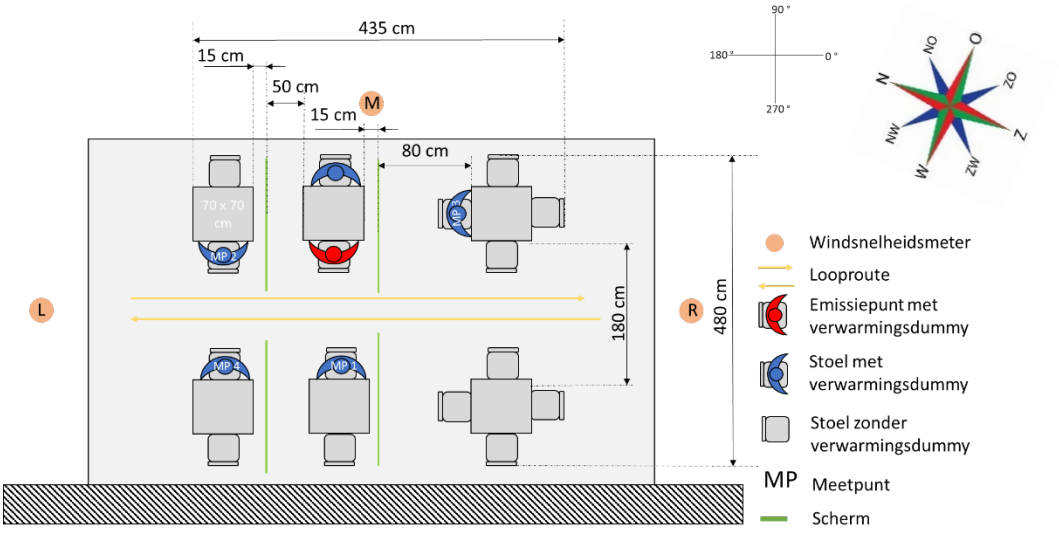
Er zijn twee verschillende opstellingen met schermen gedefinieerd, opstelling A en opstelling B. De schermen zijn 185 cm breed, 180 cm hoog en tot 50 cm vanaf vloerniveau open. Bij opstelling A is gebruik gemaakt van 4 volledige schermen die parallel zijn opgesteld. Deze opstelling A is weergegeven in Figuur 4. Bij opstelling B is gebruik gemaakt van 4 volledige schermen en één gehalveerd scherm van 92 cm breed, Figuur 5. Hierbij zijn 4 schermen in een kruisopstelling gepositioneerd om 4 tafels van elkaar af te schermen, een vijfde scherm is hierbij tussen twee tafels in geplaatst.

De afmetingen van de schermen zijn weergegeven in Figuur 6.

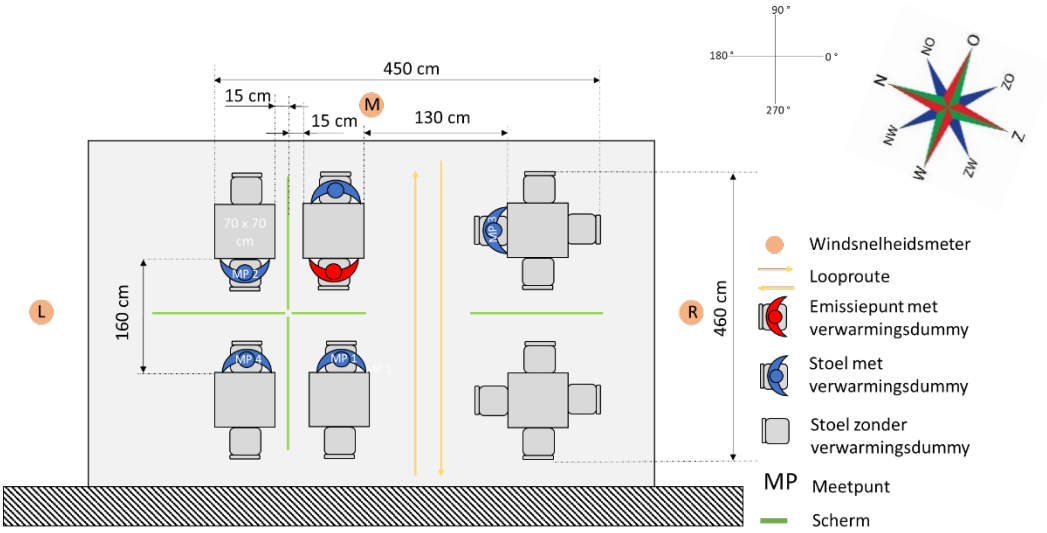
*Windsnelheid*
Op drie posities (links (L), midden (M) en rechts (R)), in het midden van de open zijden van het buitenterras is op een hoogte van 115 cm, die overeenkomt met de hoogte van de emissie, de windsnelheid en richting bepaald. Ieder minuut zijn deze gegevens opgeslagen om op deze wijze een goed beeld te krijgen van de omstandigheden waaronder de metingen zijn uitgevoerd. Omdat de metingen daadwerkelijk buiten zijn uitgevoerd kunnen deze omstandigheden niet worden gecontroleerd en variëren deze omstandigheden dus tussen de metingen. Een negatieve waarde voor de windrichting kan positief worden gemaakt door daar 360° bij op te tellen. Zo komt een windrichting van -15° overeen met 345° (-15° + 360°).



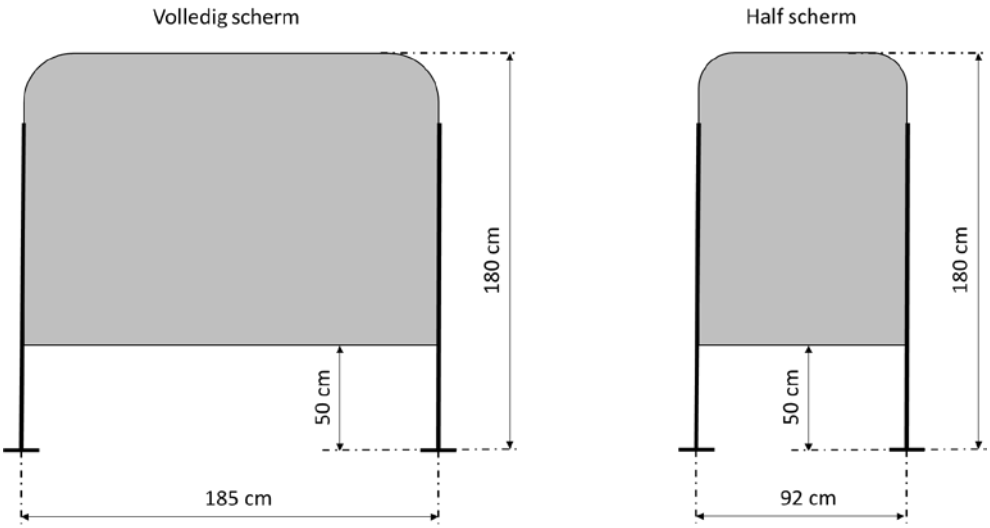

*Figuur 3. Opstelling 1,5 meter protocol.*




*Figuur 4. Opstelling A met schermen.*




*Figuur 5. Opstelling B met schermen.*




*Figuur 6. Schematische weergave schermen.*

# 4 Resultaten indicatieve metingen

De resultaten van de indicatieve metingen op het buitenterras met opstelling A en opstelling B zijn in paragraaf 4.1 t/m 4.3 weergegeven. In paragraaf 4.4 is de samenvatting van de resultaten weergegeven.

De figuren met de grafische weergave van de resultaten zijn zowel voor de ≥ 0,5 µm als voor de deeltjes ≥ 3,0 µm weergegeven. De deeltjes ≥ 0,5 µm geven het gedrag van volledig airborne aerosolen weer die de luchtstroom volledig volgen. De deeltjes ≥ 3,0 µm vallen onder de noemer van aerosolen, maar zijn niet volledig airborne; er vindt voor een deel tevens depositie (neerslag) plaats.

In de figuren zijn aan de linkerzijde steeds de meetresultaten met de opstelling conform het 1,5 meter protocol weergegeven en aan de rechterzijde de meetresultaten met de schermen. Naast elkaar gelegen grafieken betreffen hetzelfde meetpunt. Deze zijn voor ieder meetpunt vergeleken voor de situatie met en zonder schermen.

De grafieken kunnen als volgt gelezen worden:

- In iedere grafiek zijn de drie afzonderlijke metingen als een dunne stippellijn weergegeven en de gemiddelde waarde als dichte blauwe lijn.
- In de periode van t=0 t/m t=10 (minuten) is de baseline concentratie vastgesteld. Die is weergegeven op de verticale as als het aantal gemeten deeltjes per minuut per $m^3$. Naast de grafiek is achter ‘baseline’ het gemiddelde aantal deeltjes per minuut per $m^3$ gegeven.
- In de periode van t=10 t/m t=25 heeft de emissie plaatsgevonden waarbij op de momenten t=15, t=20 en t=25 is langsgelopen. In de periode van 15 minuten is de concentratie gemeten. Daaruit is de cumulatieve blootstelling gedurende 15 minuten berekend, zijnde 15 x (gemiddeld aantal gemeten deeltjes per minuut per $m^3$ min de baseline). Naast de grafiek is achter ‘emissie’ de cumulatieve blootstelling gegeven in aantal deeltjes per $m^3$.
- Uit de emissiegetallen is de blootstellingsreductie berekend die gemeten is bij inzet van de schermen: reductie = 100% x (1 – $emissie_{schermen}$ / $emissie_{1,5meter}$)
- Vanaf t=25 is na het lopen de emissie direct uitgeschakeld. In de periode van t=25 t/m t=40 is de mate waarin de concentratie afneemt weergegeven, zie ook Figuur 2 voor de meetcyclus. Naast de grafiek is achter ‘herstel’ de cumulatieve blootstelling gedurende de 15 minuten herstelperiode gegeven in aantal deeltjes per $m^3$, net als bij de emissie onder aftrek van de baseline.

De windsnelheid en -richting zoals die op de drie meetpunten zijn gemeten zijn in separate figuren weergegeven. De windsnelheidsmeters zijn op een afstand van 1 meter vanaf het buitenterras gepositioneerd. De weergegeven windrichting betreft de hoek ten opzichte van de lange zijde van het buitenterras. Hierbij staat 0° voor parallel aan de lange zijde van het terras (wind van rechts naar links in Figuur 3, Figuur 4 en Figuur 5) en 90° de richting haaks op de lange zijde (wind van boven naar beneden in de figuur).

### 4.1 Buitenterras, opstelling A

De resultaten voor deeltjes ≥ 0,5 µm en deeltjes ≥ 3,0 µm zijn weergegeven in respectievelijk Figuur 7 en Figuur 8.

Door de snelle afname en de fluctuaties in de herstelperiode is het niet verantwoord om deze fase te betrekken in de vergelijking van de blootstelling. Om deze reden is voor de blootstelling alleen de emissieperiode (t=10 t/m t=25 minuten) beschouwd.

De resultaten laten zien dat de blootstelling aan deeltjes ≥ 0,5 µm tijdens de emissieperiode door toepassing van schermen voor meetpunt 2 en 3 tot een reductie van respectievelijk 54% en 32% leidt. In meetpunt 1 en 4 is er echter voor de deeltjes ≥ 0,5 µm een toename van de blootstelling waargenomen van respectievelijk 130% en 81%.
Voor deeltjes ≥ 3,0 µm is in meetpunten 2 t/m 4 een reductie van de concentratie gemeten van respectievelijk 78%, 47% en 26%. In meetpunt 1 is er voor de deeltjes ≥ 3,0 µm een toename van 90% gemeten. Hierbij wordt opgemerkt dat het gemeten concentratieverloop grillig is en tijdens de emissie van deeltjes ≥ 3,0 µm was de gemeten waarde maar beperkt hoger dan de baseline. Daardoor is de nauwkeurigheid waarmee uitspraken over de reductie of toename van blootstelling aan deeltjes ≥ 3,0 µm gedaan kunnen worden, beperkter dan voor de deeltjes ≥ 0,5 µm.

De windrichting en -snelheid zijn voor de opstelling conform het 1,5 meter protocol en de opstelling met schermen voor de drie meetpunten weergegeven in Figuur 9.

Tijdens de referentie metingen was de gemiddelde windrichting op het linker, midden en rechter meetpunt t.o.v. het buitenterras respectievelijk -35°,  -76° en -79° met een luchtsnelheid van circa 0,5 m/s. Bij de metingen met schermen was de gemiddelde windrichting op het linker, midden en rechter meetpunt t.o.v. het buitenterras respectievelijk -35°,  -64° en -70° met een luchtsnelheid van circa 0,5 m/s. De gemiddelde windcondities tussen referentie meting en scherm meting zijn dus redelijk vergelijkbaar. Overwegend waaide de wind in Figuur 3 en Figuur 4 dus van de rechter windsnelheidsmeter in de richting van de linker en de midden windsnelheidsmeter. Op basis van deze windrichting zou verwacht worden dat in de referentie meting zonder schermen de verontreinigingen vanuit het emissiepunt voor het merendeel direct van het terras worden geblazen. Echter, door de invloed van de tent zal de stromingsrichting op het terras veranderen. Visueel was aan het uitstroompatroon van de pluim bij het emissiepunt te zien dat er sprake was van fluctuerende/wisselende stromingsrichtingen. Dit verklaart de sterke variatie van de individuele concentratiemetingen (gestippelde lijnen) in Figuur 7.

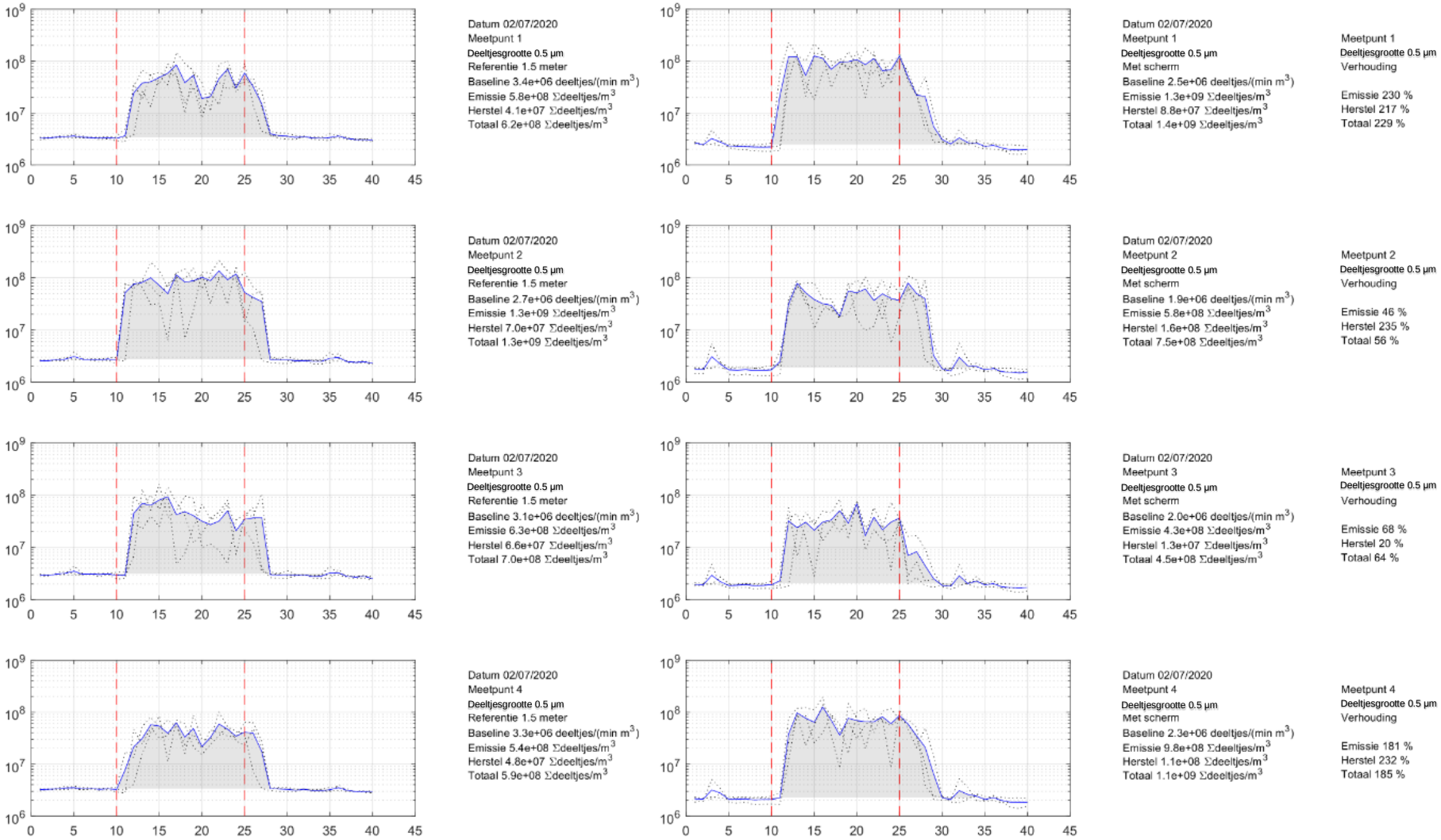
In de meting met de schermen is het voorstelbaar dat de luchtstroming de looproute tussen de schermen volgde en deels ook lucht vanuit het emissiepunt meevoerde. En dat deze lucht via een wervel achter de schermen terecht komt bij meetpunt 1 en 4. Een dergelijke luchtstroming zou een verklaring kunnen vormen voor de hogere concentraties in meetpunt 1 en 4 voor de deeltjes ≥ 0,5 µm alhoewel die niet benedenwinds liggen t.o.v. het emissiepunt. Ook kan dit de toename in blootstelling verklaren op meetpunt 1 direct achter het emissiepunt voor de deeltjes ≥ 3,0 µm. Hierbij wordt opgemerkt dat de afstand tussen het emissiepunt en meetpunt 1 en 4 voldoet aan de basisopstelling conform het 1,5 meter protocol,

Figuur 3. De gemeten concentraties tijdens de baseline- en emissieperiode fluctueren sterk bij deeltjes ≥ 3,0 µm, met name bij de opstellingen met schermen. Dit zal de berekende emissie en daarmee de berekende reductie (zie figuur 8) sterk beïnvloeden en maakt de onzekerheid in de berekende reductie hoog.

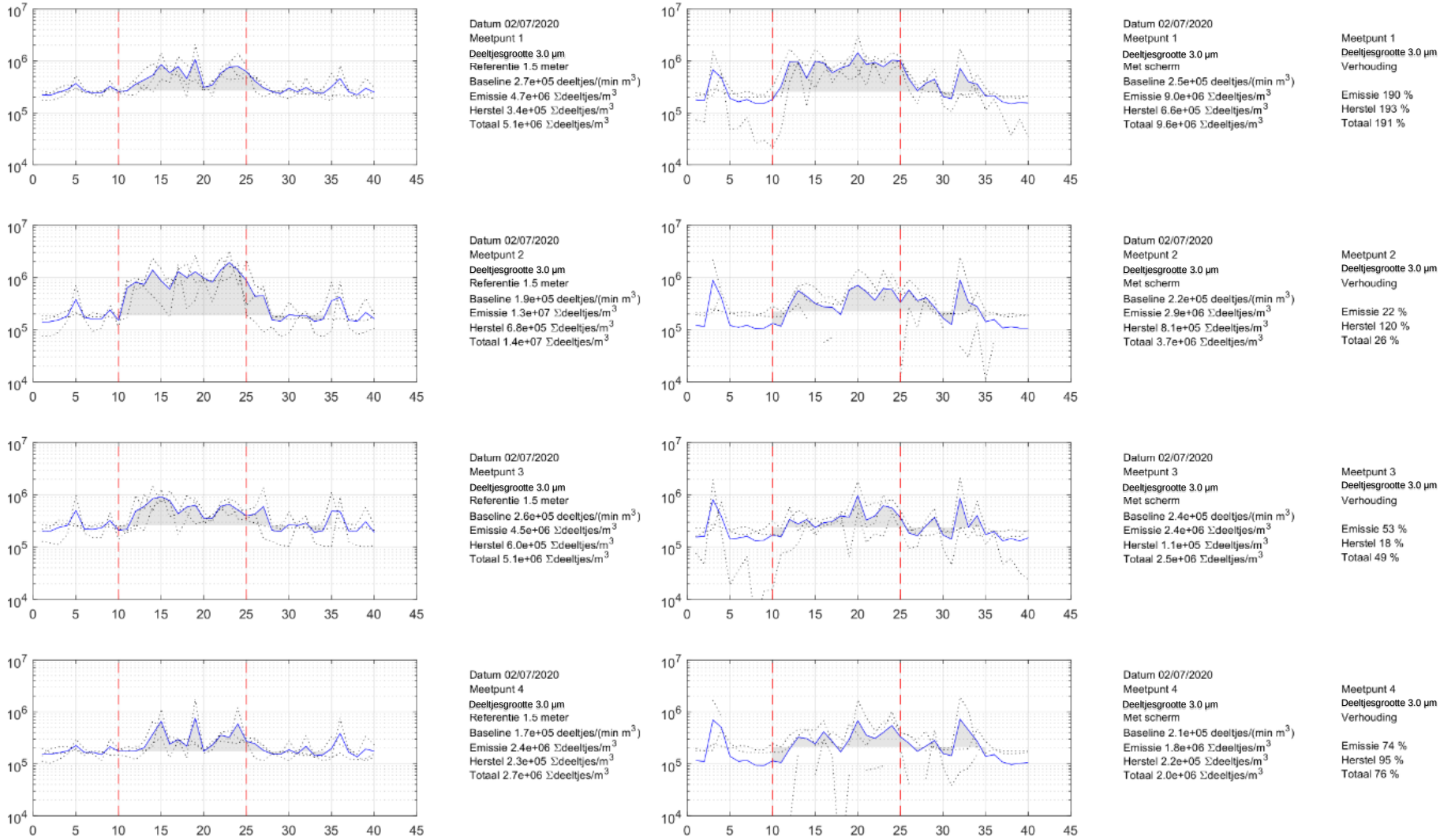
Bij alle meetpunten is in de herstelperiode een zeer snelle reductie van de concentratie zichtbaar. Binnen een periode van 5 minuten na het beëindigen van de emissie is de concentratie weer op het niveau van de baseline. Dit betekent dat de reductiesnelheid zeer groot is, hetgeen wordt veroorzaakt doordat er veel luchtverversing op het buitenterras plaatsvindt.

Het effect van het lopen op t=15, t=20 en t=25 valt volledig weg door de variatie in concentratie veroorzaakt door de fluctuaties die optreden door het wisselende stromingspatroon van de lucht als gevolg van de wind.

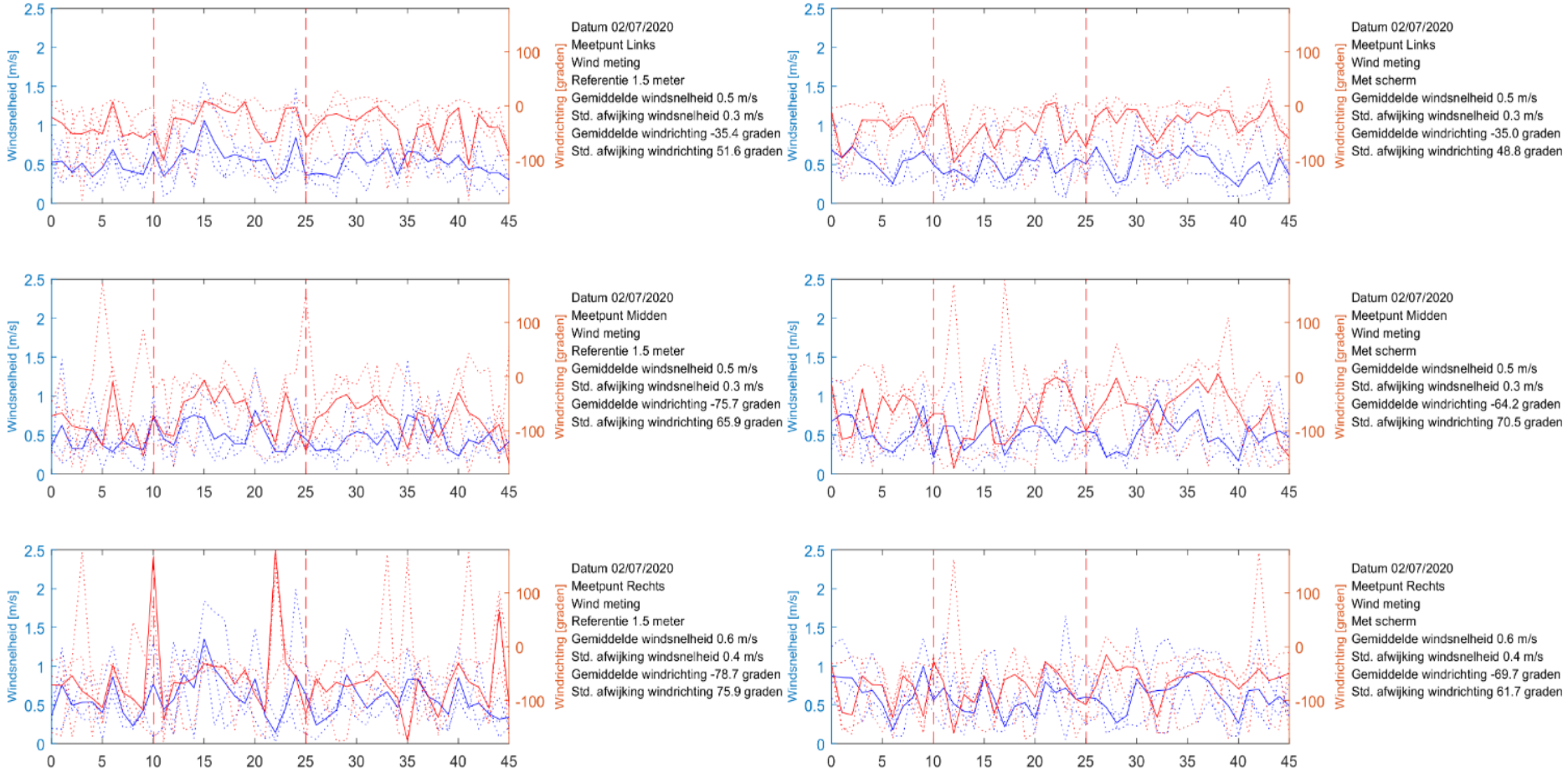
*Samenvattend*
Toepassing van de schermen in opstelling A leidt in combinatie met de luchtstroming voor de deeltjes ≥ 0,5 µm tot een toename van de blootstelling op de twee meetpunten (meetpunt 1 en 4). Deze meetpunten liggen meer dan 1,5 meter van het emissiepunt verwijderd.
De gemeten concentraties bij deeltjes ≥ 3,0 µm tijdens de baseline- en emissieperiode fluctueren sterk, met name bij de situaties met schermen. Dit zal de berekende emissie en daarmee de berekende reductie (zie figuur 8) sterk beïnvloeden en maakt de onzekerheid in de berekende reductie hoog. Voor de deeltjes ≥ 3,0 µm leidt de toepassing van schermen op meetpunten 2, 3 en 4 tot een reductie en op meetpunt 1 tot een toename van de blootstelling; de reductie/toename kent echter een grote onzekerheid door de fluctuaties in het stromingspatroon.
De windrichting en -snelheid en de daarmee gepaard gaande fluctuaties in het stromingspatroon lijken dominant te zijn voor de verspreiding en blootstelling aan kleine deeltjes (≤ 5 µm) op een buitenterras.




*Figuur 7. Resultaten opstelling A, deeltjes ≥ 0,5 µm. Gemeten concentraties op 4 meetpunten met resp. 1,5 meter afstand (links) en schermen (rechts). Dunne stippellijnen: drie metingen; Doorgetrokken lijn: gemiddelde daarvan. Tussen rode stippellijnen: emissieperiode.*




*Figuur 8. Resultaten opstelling A, deeltjes ≥ 3,0 µm. Gemeten concentraties op 4 meetpunten met resp. 1,5 meter afstand (links) en schermen (rechts). Dunne stippellijnen: drie metingen; Doorgetrokken lijn: gemiddelde daarvan. Tussen rode stippellijnen: emissieperiode.*




*Figuur 9. Windsnelheid (blauw) en -richting (oranje) tijdens de metingen met buitenterras opstelling A. Grafieken links: 3 meetpunten met 1,5 meter afstand; grafieken rechts: opstelling met schermen. Stippellijnen: wind tijdens de drie afzonderlijke concentratiemetingen; Doorgetrokken lijn: gemiddelde daarvan.*

## 4.2 Buitenterras, opstelling B

De resultaten voor deeltjes ≥ 0,5 µm en deeltjes ≥ 3,0 µm zijn weergegeven in respectievelijk Figuur 10 en Figuur 11.

Net als bij opstelling A is voor de blootstelling alleen de emissieperiode (t=10 t/m t=25 minuten) beschouwd. De resultaten laten zien dat de blootstelling aan deeltjes ≥ 0,5 µm tijdens de emissieperiode door toepassing van schermen voor meetpunt 1, 3 en 4 tot een reductie van respectievelijk 26%, 42% en 0% leidt. In meetpunt 2 is er echter voor de deeltjes ≥ 0,5 µm een toename van de blootstelling waargenomen van 29%.
Voor de deeltjes ≥ 3,0 µm is in alle meetpunten 1 t/m 4 een reductie van respectievelijk 28%, 13%, 37% en 18%. Hierbij wordt opgemerkt dat het gemeten concentratieverloop grillig is en tijdens de emissie van deeltjes ≥ 3,0 µm was de gemeten concentratie maar beperkt hoger dan de baseline. Daardoor is de nauwkeurigheid waarmee uitspraken over de reductie of toename van blootstelling aan deeltjes ≥ 3,0 µm gedaan kunnen worden, beperkter dan voor de deeltjes ≥ 0,5 µm.

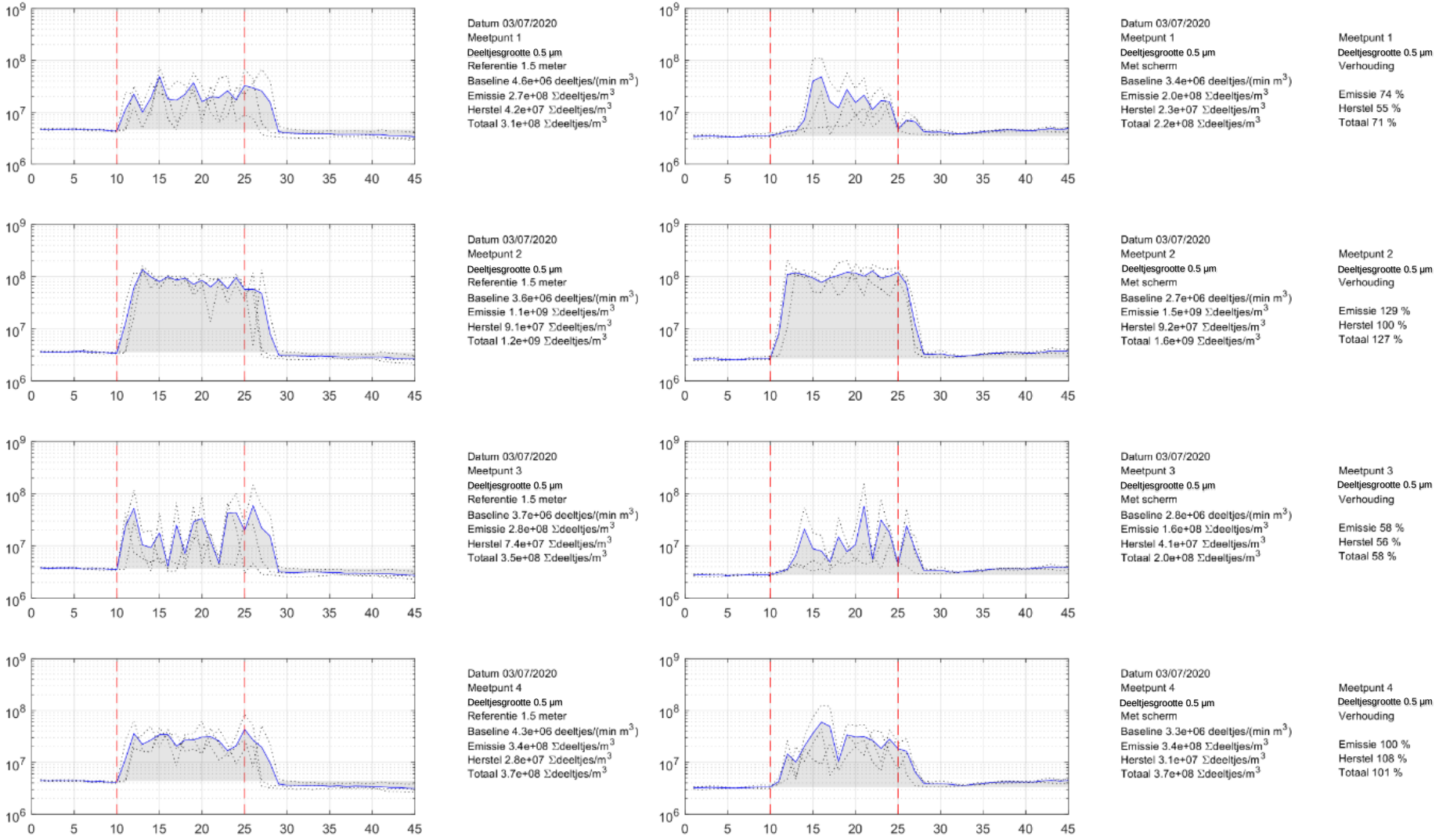
De windrichting en -snelheid zijn voor de opstelling conform het 1,5 meter protocol en de opstelling met schermen voor de drie meetpunten weergegeven in Figuur 12. Tijdens de referentie metingen was de gemiddelde windrichting op het linker, midden en rechter meetpunt t.o.v. het buitenterras respectievelijk -21°, -35° en -55° met een windsnelheid van 0,3 tot 0,7 m/s. Bij de metingen met schermen was de gemiddelde windrichting op het linker, midden en rechter meetpunt t.o.v. het buitenterras respectievelijk -11°, -20° en -40° met een windsnelheid van circa 0,7 tot 0,9 m/s. De windsnelheid tijdens de metingen met schermen is verhoogd ten opzichte van de referentie meting, de windrichting is beperkt veranderd. Overwegend waaide de wind in Figuur 3 en Figuur 5 dus van de rechter windsnelheidsmeter in de richting van de linker en de midden windsnelheidsmeter. Op basis van deze windrichting zou verwacht worden dat in de referentie meting zonder schermen de verontreinigingen vanuit het emissiepunt voor het merendeel direct van het terras worden geblazen. Echter, door de invloed van de tent zal de windrichting op het terras veranderen. Visueel was te zien dat er turbulente stroming optrad waarbij de windrichting varieerde. Dit verklaart de sterke variatie van de individuele concentratiemetingen (gestippelde lijnen) in Figuur 10.

De concentratie in meetpunt 2 is duidelijk verhoogd voor deeltjes ≥ 0,5 µm, ondanks dat meetpunt 2 nagenoeg benedenwinds ligt t.o.v. het emissiepunt, waardoor met schermen juist een reductie verwacht zou worden. Dit wijst erop dat het wisselende stromingspatroon als gevolg van de wind een belangrijke invloed heeft op de verspreiding van deeltjes.

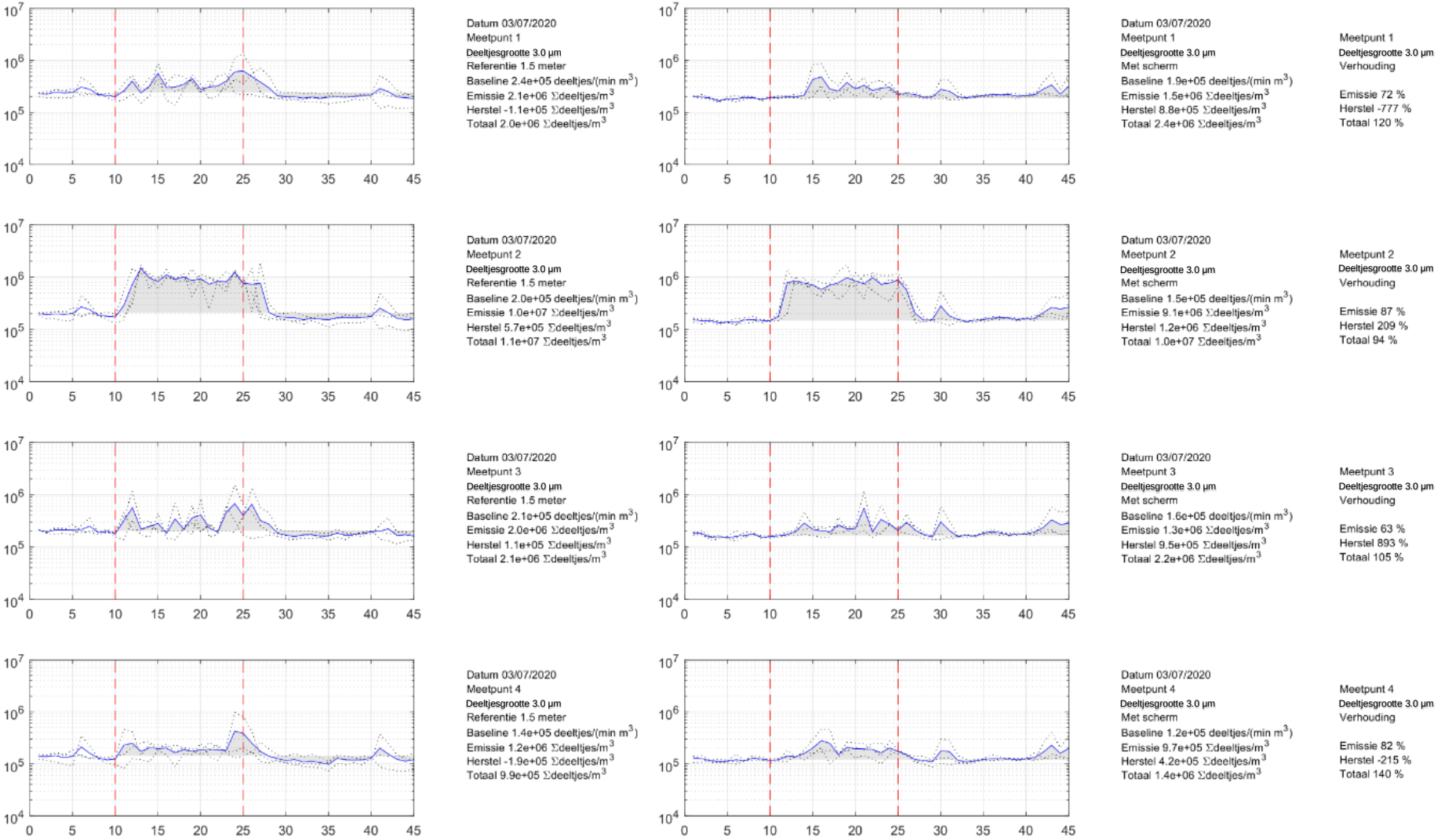
Bij alle meetpunten is in de herstelperiode een zeer snelle reductie van de concentratie zichtbaar. Binnen een periode van 3 minuten na het beëindigen van de emissie is de concentratie weer op het niveau van de baseline. Dit betekent dat de reductiesnelheid zeer groot is, hetgeen wordt veroorzaakt doordat er veel luchtverversing op het buitenterras plaatsvindt.

Het effect van het lopen op t=15, t=20 en t=25 valt volledig weg door de variatie in concentratie veroorzaakt door de fluctuaties in de luchtstroming.

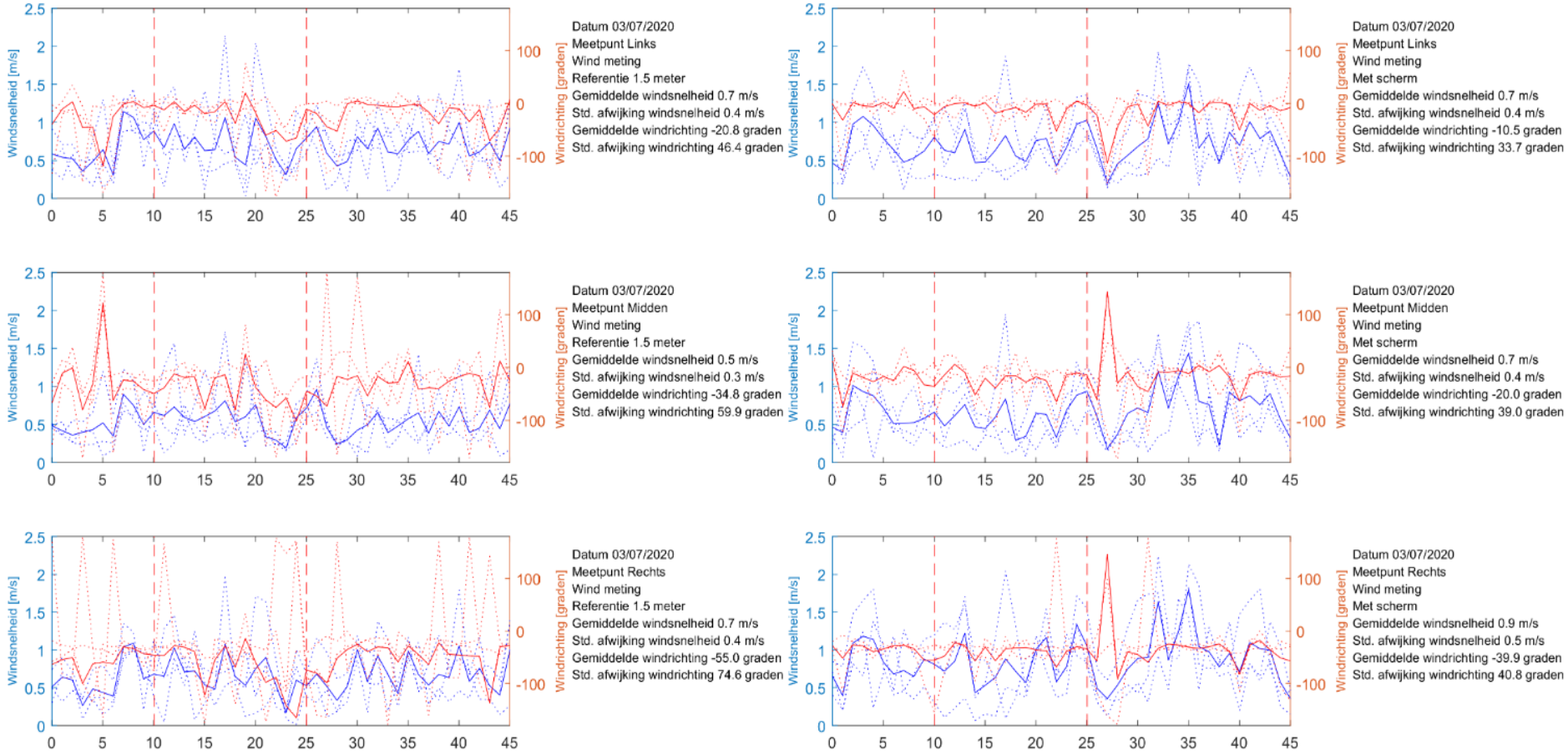
*Samenvattend*
Toepassing van de schermen in opstelling B leidt in combinatie met de luchtstroming voor de deeltjes ≥ 0,5 µm alleen op meetpunt 2 tot een toename van de blootstelling. Voor de deeltjes ≥ 3,0 µm is er op alle meetpunten een reductie van de blootstelling. Hierbij wordt opgemerkt dat het gemeten concentratieverloop grillig is en tijdens de emissie van deeltjes ≥ 3,0 µm maar beperkt hoger dan de baseline. De nauwkeurigheid waarmee uitspraken over de reductie of toename gedaan kunnen worden, is beperkt voor deeltjes ≥ 3,0 µm.
De windrichting en -snelheid en de daarmee gepaard gaande fluctuaties in het stromingspatroon lijken dominant te zijn voor de verspreiding en blootstelling aan kleine deeltjes (≤ 5 µm) op een buitenterras.




*Figuur 10. Resultaten opstelling B, deeltjes ≥ 0,5 µm. Gemeten concentraties op 4 meetpunten met resp. 1,5 meter afstand (links) en schermen (rechts). Dunne stippellijnen: drie metingen; Doorgetrokken lijn: gemiddelde daarvan. Tussen rode stippellijnen: emissieperiode.*




*Figuur 11. Resultaten opstelling B, deeltjes ≥ 3,0 µm. Gemeten concentraties op 4 meetpunten met resp. 1,5 meter afstand (links) en schermen (rechts). Dunne stippellijnen: drie metingen; Doorgetrokken lijn: gemiddelde daarvan. Tussen rode stippellijnen: emissieperiode.*




*Figuur 12. Windsnelheid (blauw) en -richting (oranje) tijdens de metingen met buitenterras opstelling B. Grafieken links: 3 meetpunten met 1,5 meter afstand; grafieken rechts: opstelling met schermen. Stippellijnen: wind tijdens de drie afzonderlijke concentratiemetingen; Doorgetrokken lijn: gemiddelde daarvan.*

### 4.3 Buitenterras, opstelling B met lagere emissie

Met opstelling B is er ook een beperkt aantal experimenten uitgevoerd met een emissie die overeenkomt met de emissie zoals toegepast in TNO-rapport 2020 R10993 (11,2 l/min). De resultaten voor deeltjes ≥ 0,5 µm en deeltjes ≥ 3,0 µm zijn weergegeven in respectievelijk Figuur 13 en Figuur 14.

Net als bij de eerdere metingen is voor de blootstelling alleen de emissieperiode (t=10 t/m t=25 minuten) beschouwd. De resultaten laten zien dat de situatie met schermen in alle meetpunten 1 t/m 4 leidt tot een reductie van de blootstelling. Voor de deeltjes ≥ 0,5 µm bedraagt deze reductie respectievelijk 66%, 45%, 21% en 70%. De concentratie van deeltjes ≥ 3,0 µm lijkt het patroon van de concentratie van deeltjes ≥ 0,5 µm te volgen, maar opgemerkt moet worden dat de concentratie te laag is om betrouwbare conclusies te trekken. Dat bij deze lagere emissie een positiever beeld ontstaat dan bij hogere emissie (paragraaf 4.2) kan veroorzaakt worden doordat dit slechts één meting betreft tegen 3 metingen met een hogere emissie en door de invloed van de windrichting en -snelheid op dat moment.

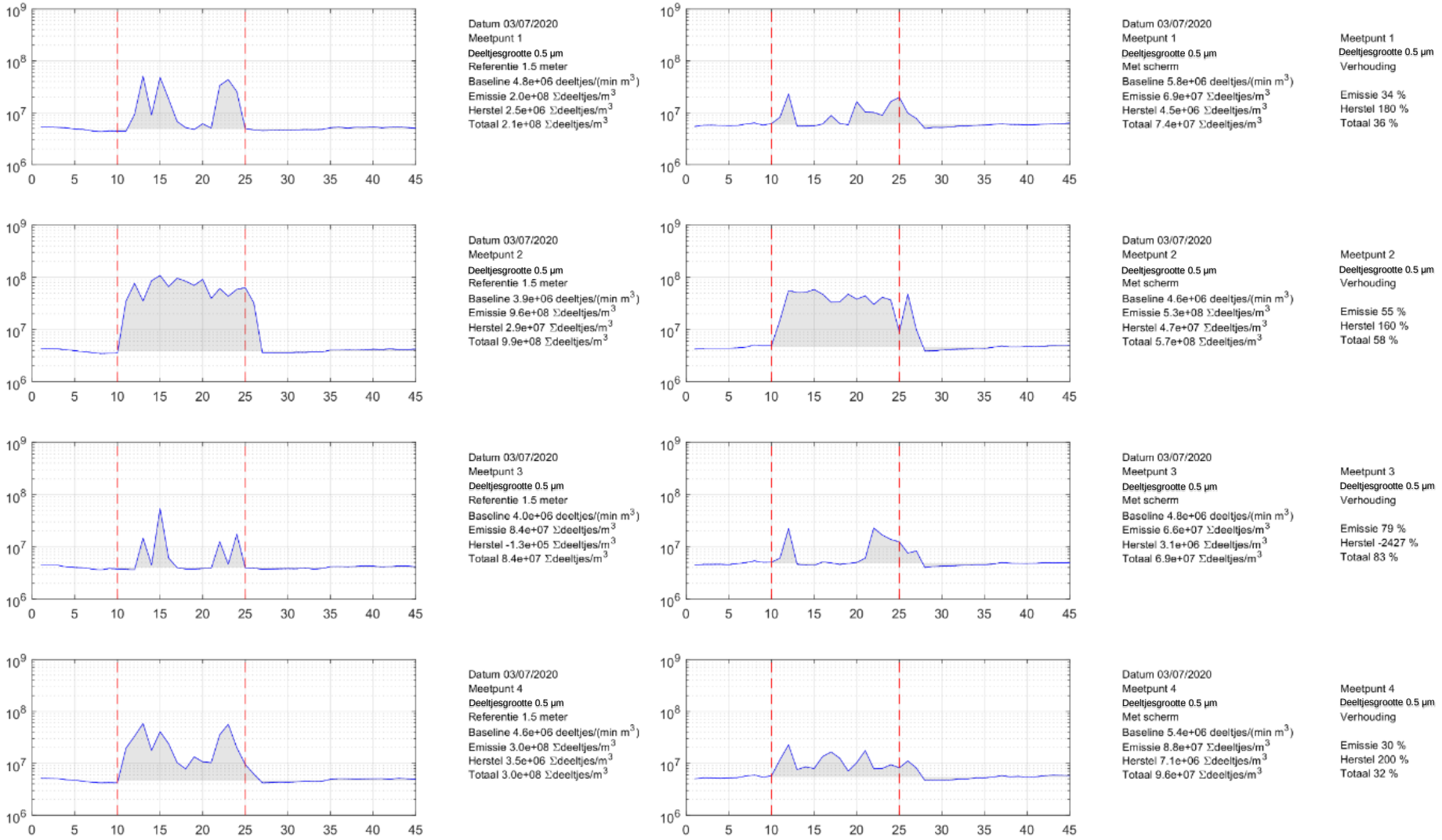
De windrichting en -snelheid zijn voor de opstelling conform het 1,5 meter protocol en de opstelling met schermen voor de drie meetpunten weergegeven in

Figuur *15*. Tijdens de referentie metingen was de gemiddelde windrichting op het linker, midden en rechter meetpunt t.o.v. het buitenterras respectievelijk -2°, -27° en -40° met een windsnelheid van 0,6 tot 0,7 m/s. Bij de metingen met schermen was de gemiddelde windrichting op het linker, midden en rechter meetpunt t.o.v. het buitenterras respectievelijk -12°, -22° en -44° met een windsnelheid van circa 0,6 tot 0,7 m/s. De gemiddelde windcondities tussen referentie meting en scherm meting zijn dus redelijk vergelijkbaar. Overwegend waaide de wind in Figuur 3 en Figuur 5 dus van de rechter windsnelheidsmeter in de richting van de linker en de midden windsnelheidsmeter. Op basis van deze windrichting zou verwacht worden dat in de referentie meting zonder schermen de verontreinigingen vanuit het emissiepunt voor het merendeel direct van het terras worden geblazen. Echter, door de invloed van de tent zal de windrichting op het terras veranderen. Visueel was te zien dat er turbulente stroming optrad waarbij de windrichting varieerde. Dit verklaart de sterke variatie van de concentratiemetingen in Figuur 13.

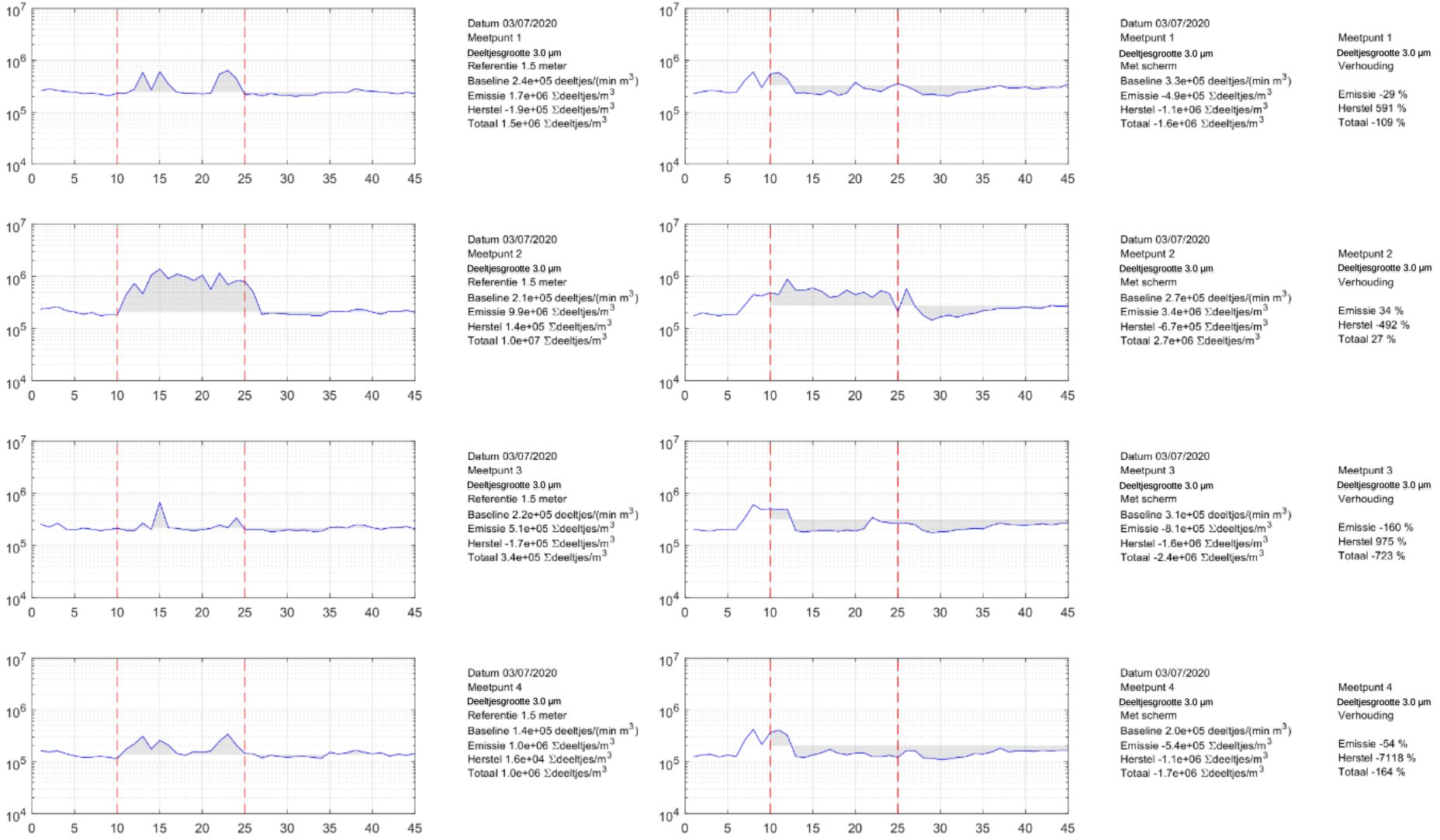
Bij alle meetpunten is voor de deeltjes ≥ 0,5 µm tijdens de herstelperiode een zeer snelle reductie van de concentratie zichtbaar. Binnen een periode van 3 minuten na het beëindigen van de emissie is de concentratie weer op het niveau van de baseline. Dit betekent dat de reductiesnelheid zeer groot is, hetgeen wordt veroorzaakt doordat er veel luchtverversing op het buitenterras plaatsvindt.

Het effect van het lopen op t=15, t=20 en t=25 valt volledig weg door de variatie in concentratie veroorzaakt door de fluctuaties in de luchtstroming.

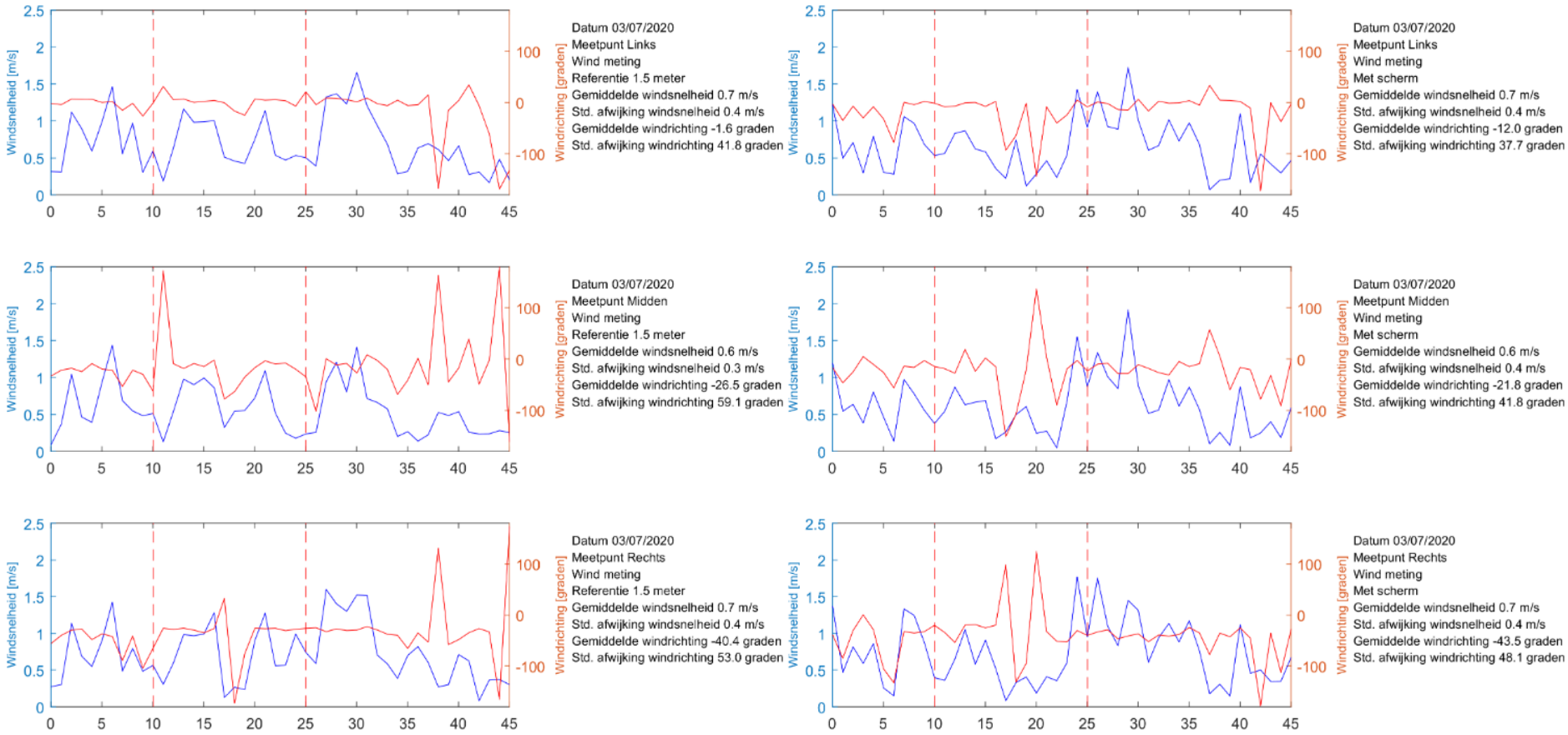
*Samenvattend*
Bij lagere emissie leidt toepassing van de schermen in opstelling B in combinatie met de luchtstroming voor de deeltjes ≥ 0,5 µm op alle meetpunten tot een reductie van de blootstelling. Voor de deeltjes ≥ 3,0 µm is de concentratie te laag om daarover uitspraken te kunnen doen.




*Figuur 13. Resultaten opstelling B met lagere emissie, deeltjes ≥ 0,5 µm. Gemeten concentraties op 4 meetpunten met resp. 1,5 meter afstand (links) en schermen (rechts). Dunne stippellijnen: drie metingen; Doorgetrokken lijn: gemiddelde daarvan. Tussen rode stippellijnen: emissieperiode.*



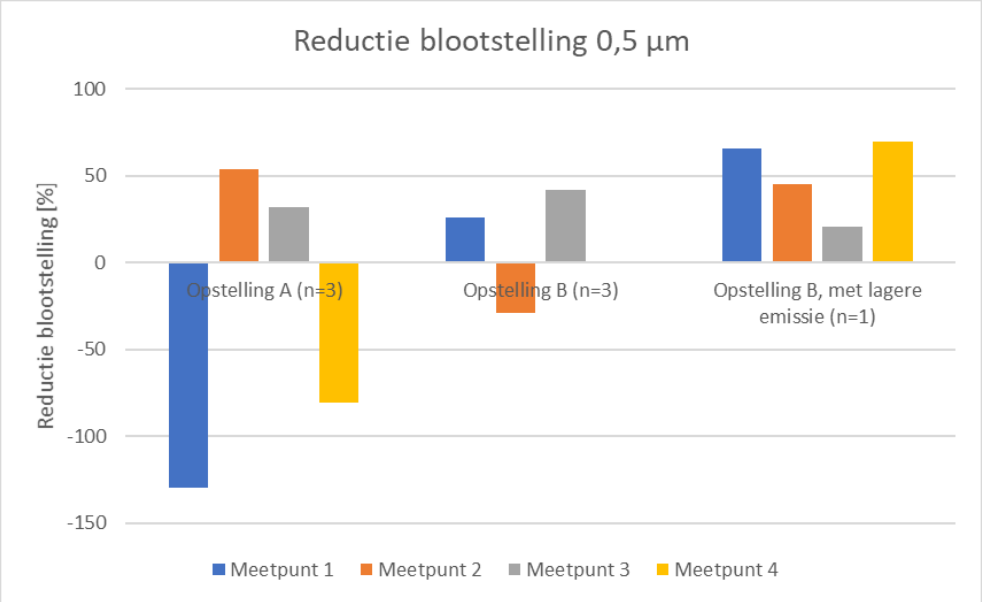

*Figuur 14. Resultaten opstelling B met lagere emissie, deeltjes ≥ 3,0 µm. Gemeten concentraties op 4 meetpunten met resp. 1,5 meter afstand (links) en schermen (rechts). Dunne stippellijnen: drie metingen; Doorgetrokken lijn: gemiddelde daarvan. Tussen rode stippellijnen: emissieperiode.*



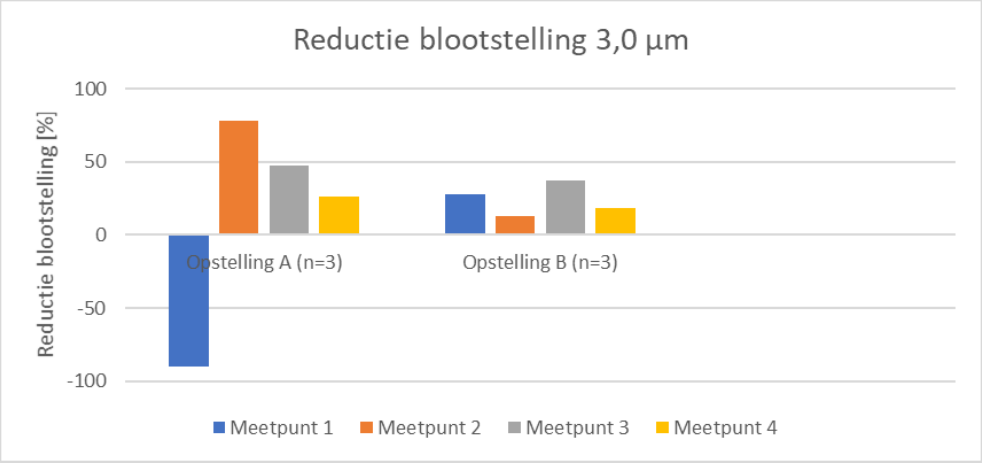

*Figuur 15. Windsnelheid (blauw) en -richting (oranje) tijdens de metingen met buitenterras opstelling B met lagere emissie. Grafieken links: 3 meetpunten met 1,5 meter afstand; grafieken rechts: opstelling met schermen*

## 4.4 Totaaloverzicht resultaten

De resultaten van de verschillende locaties en opstellingen zijn weergegeven in Figuur 16 voor deeltjes ≥ 0,5 µm en in Figuur 17 voor deeltjes ≥ 3,0 µm. Hieruit is het licht positieve beeld van het effect van het toepassen van de schermen zichtbaar.
De resultaten voor deeltjes ≥ 3,0 µm in Figuur 17 hebben een beperktere nauwkeurigheid dan voor deeltjes ≥ 0,5 µm, aangezien het gemeten concentratieverloop grillig is en tijdens de emissie van deeltjes ≥ 3,0 µm maar beperkt hoger dan de baseline.




*Figuur 16. Resultaten blootstelling buitenterras deeltjes ≥ 0,5 µm t.o.v. opstelling conform het 1,5 meter protocol. De reductie op meetpunt 4 in opstelling B is 0% en daardoor niet zichtbaar.*




*Figuur 17. Resultaten blootstelling buitenterras deeltjes ≥ 3,0 µm t.o.v. opstelling conform het 1,5 meter protocol. Metingen voor opstelling B met lagere emissie leidden te lage concentraties om daarover uitspraken te kunnen doen; deze metingen zijn daarom niet opgenomen in deze grafiek.*

Na beëindiging van de emissie wordt de baseline concentratie bij de metingen op het buitenterras op alle meetpunten binnen 5 minuten (opstelling A) of 3 minuten (opstelling B) weer bereikt. Uit metingen in de inpandige situaties, TNO-rapport 2020 R10993, blijkt dat bij geen van die situaties de baseline concentratie binnen 20 minuten wordt bereikt. Deze kortere hersteltijd is een indicatie dat de blootstelling buiten lager zal zijn dan in een inpandige situatie.

Hiermee wordt de in TNO-rapport 2020 R10993 gegeven hypothese bevestigd dat de kans op aerogene besmetting op een buitenterras lager is dan inpandig. Dit wordt veroorzaakt door een hogere mate van verdunning door de luchtstroom buiten die aerosolen effectief verspreidt.

# 5 Conclusies

Voor de twee opstellingen op het buitenterras waarmee de indicatieve metingen hebben plaatsgevonden, worden de volgende conclusies getrokken.

## 5.1 Effect van de inzet van schermen op blootstelling aan aerosolen (deeltjes kleiner dan 5,0 µm)

Het gebruik van voldoende grote schermen samen met het verkleinen van de afstand tussen de gasten ten opzichte van het 1,5 meter protocol geeft op de meeste meetpunten een verlaging van de blootstelling aan aerosolen.

Door de windrichting en -snelheid in combinatie met de opstelling van de schermen kan op sommige meetpunten op een afstand groter dan 1,5 meter de blootstelling toenemen. Dit wordt zeer waarschijnlijk veroorzaakt door het lokale stromingspatroon dat wordt veroorzaakt door de windrichting en -snelheid in combinatie met de opstelling van de schermen.

De deeltjes groter dan 3,0 µm geven door de beperkte concentratie een onbetrouwbaar beeld. Daardoor kunnen aan de hand van dit onderzoek geen conclusies worden getrokken over blootstelling aan deze deeltjes.

De fluctuaties in richting en snelheid van de luchtstroming door de wind is bepalend voor de gemeten concentraties voor de deeltjes groter dan 0,5 µm en deeltjes groter dan 3,0 µm.

## 5.2 Effect van hersteltijd na emissie op blootstelling aan aerosolen (deeltjes kleiner dan 5,0 µm)

Na beëindiging van de deeltjesproductie wordt de baseline concentratie op alle meetpunten binnen 5 minuten weer bereikt. Uit metingen binnen in de horecagelegenheden, TNO-rapport 2020 R10993, blijkt dat bij geen van de situaties de baseline concentratie binnen 20 minuten wordt bereikt.

De snellere concentratieafname in de buitensituatie is een indicatie dat de blootstelling buiten lager zal zijn dan binnen. Dit is in lijn met de in TNO-rapport 2020 R10993 gegeven vooronderstelling dat de kans op besmetting via aerosolen op een buitenterras fors lager is dan binnen.

# 6 Literatuur


1. Ai A, Hashimoto K, Melikov AK. Influence of pulmonary ventilation rate and breathing cycle period on the risk of cross-infections. *Indoor Air*. 2019;29(6):993-1004. doi:10.1111/ina.12589
2. Xu C, Nielsen P V., Gong G, Liu L, Jensen RL. Measuring the exhaled breath of a manikin and human subjects. *Indoor Air*. 2015;25(2):188-197. doi:10.1111/ina.12129
3. Somsen GA, Rijn C Van, Kooij S, Bem RA, Bonn D. Comment Small droplet aerosols in poorly ventilated spaces and SARS-CoV-2 transmission. *Lancet Respir*. 2020;2600(20):9-10. doi:10.1016/S2213-2600(20)30245-9
4. Liu Y, Ning Z, Chen Y, et al. Aerodynamic Characteristics and RNA Concentration of SARS-CoV-2 Aerosol in Wuhan Hospitals during COVID-19 Outbreak. *bioRxiv*. 2020;86(21):2020.03.08.982637. doi:10.1101/2020.03.08.982637
5. Asadi S, Wexler AS, Cappa CD, Barreda S, Bouvier NM, Ristenpart WD. Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness. *Sci Rep*. 2019;9(1):1-10. doi:10.1038/s41598-019-38808-z
6. Morawska L, Johnson GR, Ristovski ZD, et al. Size distribution and sites of origin of droplets expelled from the human respiratory tract during expiratory activities. *J Aerosol Sci*. 2009;40(3):256-269. doi:10.1016/j.jaerosci.2008.11.002
7. Hussein T, Hruška A, Dohányosová P, et al. Deposition rates on smooth surfaces and coagulation of aerosol particles inside a test chamber. *Atmos Environ*. 2009;43(4):905-914. doi:10.1016/j.atmosenv.2008.10.059
8. Jacobs P, De Gids WF. Individual and collective climate control in aircraft cabins. *Int J Veh Des*. 2006;42(1-2):57-66. doi:10.1504/IJVD.2006.010177
9. Jacobs P, Opperhuizen A. Simulation supported field study of environmental tobacco smoke leakage from smoking rooms in 19 Dutch pubs. *12th Int Conf Indoor Air Qual Clim 2011*. 2011;3:1954-1960.

# 7 Ondertekening

Delft, 19 augustus 2020 TNO

Research manager Auteur