



# EFFECTIVITEIT VAN SCHERMEN IN HET STADS- EN STREEKVERVOER (BUS)

DR. JAN L. SOUMAN, TNO IVS

4 augustus 2020

## › INHOUD

# EFFECTIVITEIT VAN SCHERMEN IN HET STADS- EN STREEKVERVOER (BUS)

01. VRAAGSTELLING

02. ONDERZOEKSAANPAK

03. KWALITATIEVE ANALYSE OVERDRACHTSRUTES EN SCHERMEN

04. OPZET KWANTITATIEF ONDERZOEK DEELTJESVERSPREIDING

05. RESULTATEN STREEKBUS

06. AANBEVELINGEN

07. SUMMARY IN ENGLISH

## › VRAAGSTELLING

### Hoofdvraag:

Maakt het gebruik van een scherm tussen bestuurder en passagiers het mogelijk om passagiers weer door de voordeur te laten instappen, zonder dat daarbij de kans op blootstelling aan het SARS-CoV-2 virus voor de bestuurder toeneemt ten opzichte van de huidige situatie waarin de voordeur gesloten blijft?

### Secundaire vragen:

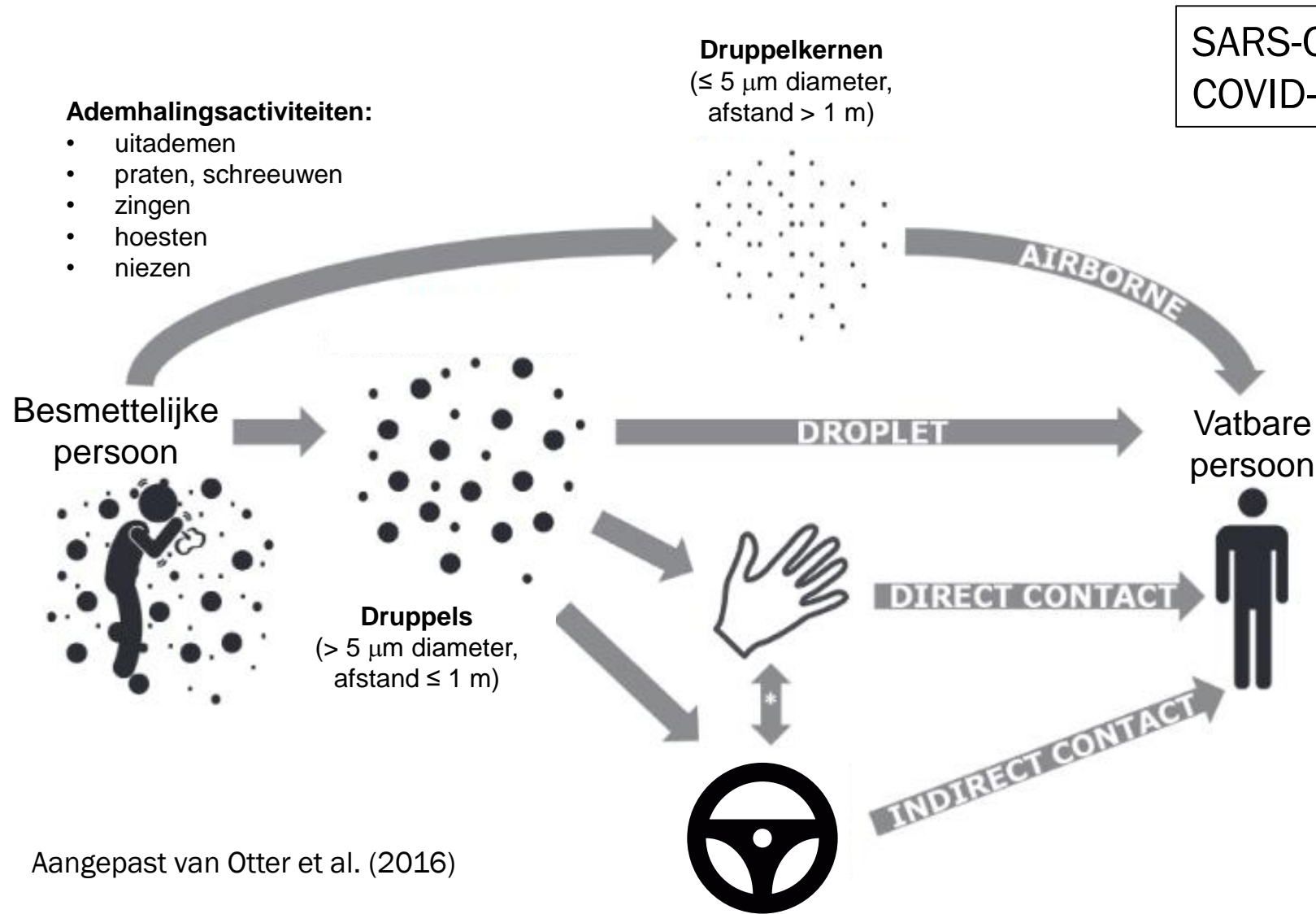
1. Heeft het vergroten van de afmetingen van de schermen een positief effect op de aerosolverspreiding (zwevende deeltjes  $\leq 5 \mu\text{m}$ , ook wel 'druppelkernen' genoemd) van het passagiersgedeelte naar de bestuurderspositie?
2. Wat is het effect van toelaten van passagiers op de eerste zitrij op aerosolniveaus bij de bestuurder?
3. Wat is het effect van het openen van de voertuigdeuren op de aerosolverspreiding?

## › ONDERZOEKSAANPAK

1. **Kwalitatieve analyse van mogelijke overdrachtsroutes in het stads-/streekverkeer en het effect van schermen**
  - Op grond van wetenschappelijke literatuur
2. **Kwantitatieve metingen van aerosolverspreiding in een bus voor het stads-/streekvervoer en het effect van schermen**

Zie het TNO rapport *TNO 2020 R11200* voor een volledige beschrijving van de onderzoeksaanpak en -resultaten

# OVERDRACHTSROUTES SARS-COV-2



SARS-CoV-2: Virus  
COVID-19: Ziekteverschijnselen

Volgens de WHO (2020) is de belangrijkste overdrachtsroute voor SARS-CoV-2 die door druppels en direct contact op korte afstand ( $\leq 1 \text{ m}$ ); indirect contact en overdracht via druppelkernen (aerosolen, airborne) worden mogelijk geacht, maar zijn niet duidelijk bewezen.

Aangepast van Otter et al. (2016)

## OVERDRACHTSRUTES IN STADS- EN STREEKVERVOER

Overdrachtsroute	Beschrijving	Wetenschappelijke evidentie	Voorbeelden in OV	Effect kuchschermb
<b>Directe druppeloverdracht</b>	Overdracht via ademhalingsdruppeltjes ( $> 5 \mu\text{m}$ )	Consensus, sterke evidentie voor SARS-CoV-2	Hoesten, niezen, praten, ademen (op korte afstand)	Minimaliseert kans op druppeloverdracht
<b>Direct fysiek contact</b>	Overdracht via hand/hand-contact	Consensus, maar beperkte wetenschappelijke evidentie	Handen schudden, contant betalen	Reduceert mogelijkheid voor fysiek contact
<b>Indirecte overdracht</b>	Overdracht via handcontact met oppervlak waarop virusdeeltjes zijn neergeslagen	Consensus, maar beperkte wetenschappelijke evidentie	Deuren, stangen, knoppen, betaalautomaat, kuchschermb, stuur, bedienelementen	Mogelijke toename van kans op indirecte overdracht; desinfectie noodzakelijk
<b>Aerogene overdracht</b>	Overdracht via aerosolen ( $\leq 5 \mu\text{m}$ ) in de lucht	Aannemelijk, evidentie voor andere respiratoire virussen, maar geen consensus	Hoesten, niezen, praten, ademen, zingen (op grotere afstand door luchtstromen en/of slechte ventilatie)	Onduidelijk - Onderwerp van kwantitatieve studie (volgende slides)

## › CONCLUSIES ANALYSE OP BASIS LITERATUUR

1. Als passagiers de bestuurder op  $< 1.5$  m (richtlijn RIVM) kunnen naderen, is bescherming tegen overdracht via druppels die vrijkomen bij het ademen/spreken/hoesten/niezen en via direct contact (m.n. hand/hand-contact) nodig. Een kuchschermb van voldoende grote afmetingen minimaliseert de blootstelling aan grotere ( $> 5 \mu\text{m}$ ) druppels en bemoeilijkt het directe fysieke contact.
2. Virusdeeltjes in grotere druppels kunnen neerslaan op oppervlakken en objecten (incl. kuchschermben) en nog enige tijd (uren tot dagen) actief blijven. Om de kans op indirecte overdracht te minimaliseren dienen schermen daarom regelmatig (minimaal bij wisseling van bestuurder) gedesinfecteerd worden.
3. Kleinere zwevende deeltjes ( $\leq 5 \mu\text{m}$ ) die vrijkomen bij het ademen/spreken/niezen/hoesten vormen ook een mogelijke overdrachtsroute. Het effect van schermen op deze route moet nader onderzocht worden (zie volgende slides).

## › ONDERZOEKSOPZET KWANTITATIEVE METINGEN

De verspreiding van kleine deeltjes ( $\leq 5 \mu\text{m}$ ) vanuit het passagiersgedeelte naar de bestuurderspositie werd gemeten door gedurende 15 min dergelijke deeltjes te genereren vanaf een bepaalde passagiersstoel. Dit staat voor de verspreiding door een besmettelijke persoon in de bus. Op de bestuurdersstoel en op 3 passagiersstoelen werd gemeten hoe het deeltjesniveau steeg tijdens deze 15 min en hoe het daarna weer daalde als de deeltjesbron werd uitgeschakeld. Dit werd gedaan onder verschillende condities, waardoor de effecten van de aanwezigheid van een kuchscherf, van het formaat van het scherm, van de afstand van de deeltjesbron tot de bestuurder en van het openen van de deuren konden worden gemeten.

Een belangrijke maat voor de vergelijking was het totale aantal deeltjes dat aankwam op de bestuurdersstoel (voor verschillende deeltjesgroottes).



**STREEKBUS**

**VDL CITEA SLE 129**



## › ONDERZOEKSOPZET

- Deeltjesemissie ( $\leq 5 \mu\text{m}$ ) in passagiersgedeelte met verwarmde lucht (ca.  $33 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Deeltjes werden gevormd door verneveling van olie.
- Metingen (1x/min) op bestuurdersstoel en 3 passagiersstoelen (deeltjes  $\geq 0.3 \mu\text{m}$ ,  $\geq 0.5 \mu\text{m}$ ,  $\geq 1.0 \mu\text{m}$ ,  $\geq 2.5 \mu\text{m}$ )
- Passagiers gesimuleerd met verwarmde kartonnen dozen met juiste hoogte, volume en temperatuur

Verwarmde passagiers-dummy (80 W)

Luchtpomp (10 liter/min)

Aerosolgenerator (2 liter/min)

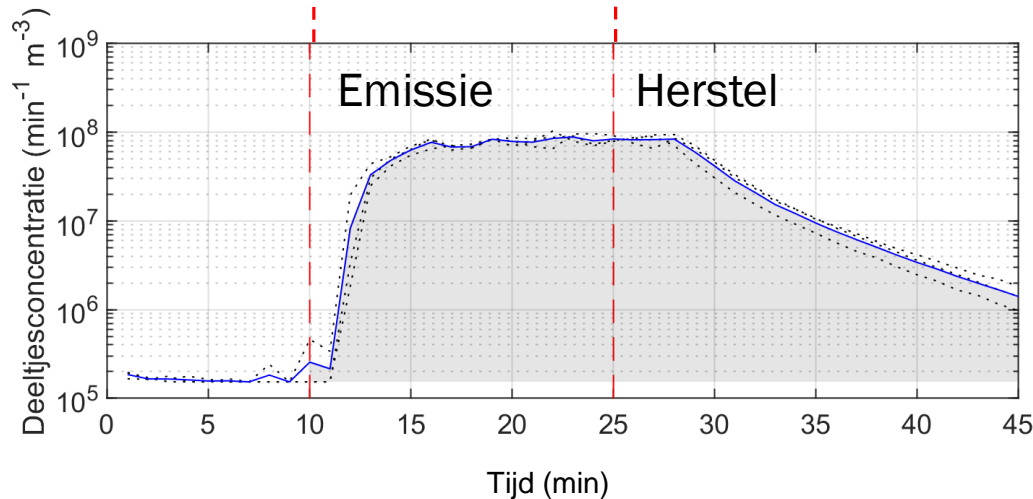


Zie TNO 2020 R11200, H. 3.1-2

# MEETPROCEDURE

Tijd (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Baseline	■	■										
Emissie			■	■	■	■						
Herstel						■	■	■	■			
Luchten										■	■	■

▲ ▲ ▲ ▲  
Deur(en) open



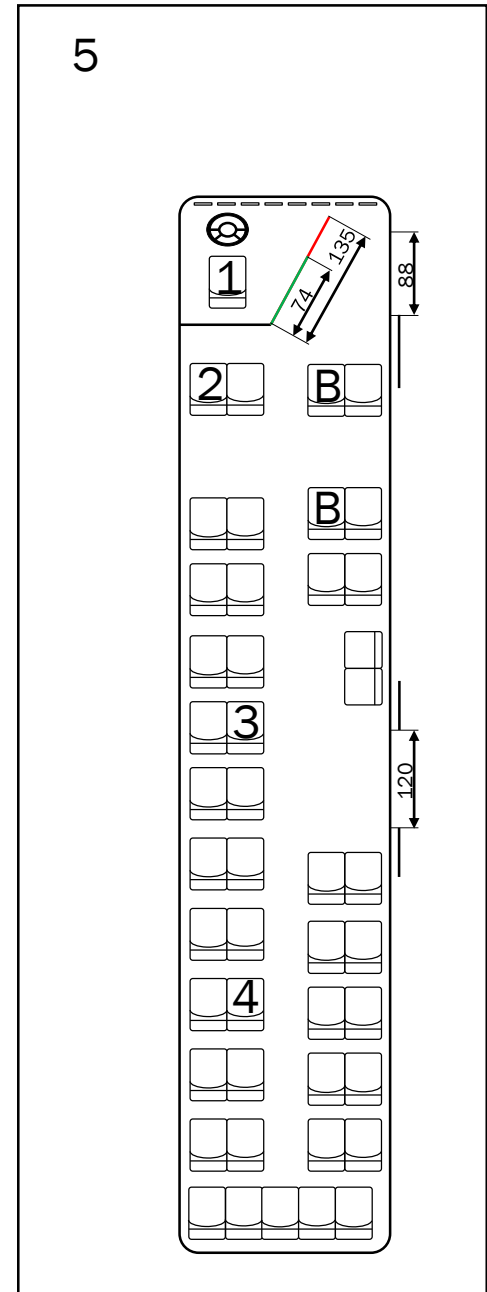
- ..... 3 meetherhalingen
- gemiddeld deeltjesniveau
- totaal aantal deeltjes gemeten boven achtergrondniveau gedurende emissie/herstel

Tijdens de deeltjesemissie werden de voertuigdeur(en) 4 maal geopend en na 30 s weer gesloten; een persoon stapte in, liep door de bus en stapte weer uit. Hiermee werd de situatie bij het halteren gesimuleerd.

# › SCHERMEN EN MEETPOSITIES

B = emissiebron  
1-5 = meetpunten

Het standaardscherm voldoet aan de eisen van de RDW, het maximale scherm niet



## › CONDITIES

Conditie	Bronpositie	Schermb	Deuren open	Testlocatie	Aantal metingen
1	2 <sup>e</sup> zitrij	Geen	Achterdeur	Hal	3
2	2 <sup>e</sup> zitrij	Standaard	Voor- en achterdeur	Hal	3
3	1 <sup>e</sup> zitrij	Standaard	Voor- en achterdeur	Hal	3
4	1 <sup>e</sup> zitrij	Maximaal	Voor- en achterdeur	Hal	3
5	1 <sup>e</sup> zitrij	Maximaal	Niet	Hal	1
6	1 <sup>e</sup> zitrij	Standaard	Voor- en achterdeur	Rijdend	1

De meeste condities werden 3 maal gemeten; conclusies op grond van het gemiddelde daarvan.

In de resultaten worden telkens 2 condities met elkaar vergeleken.

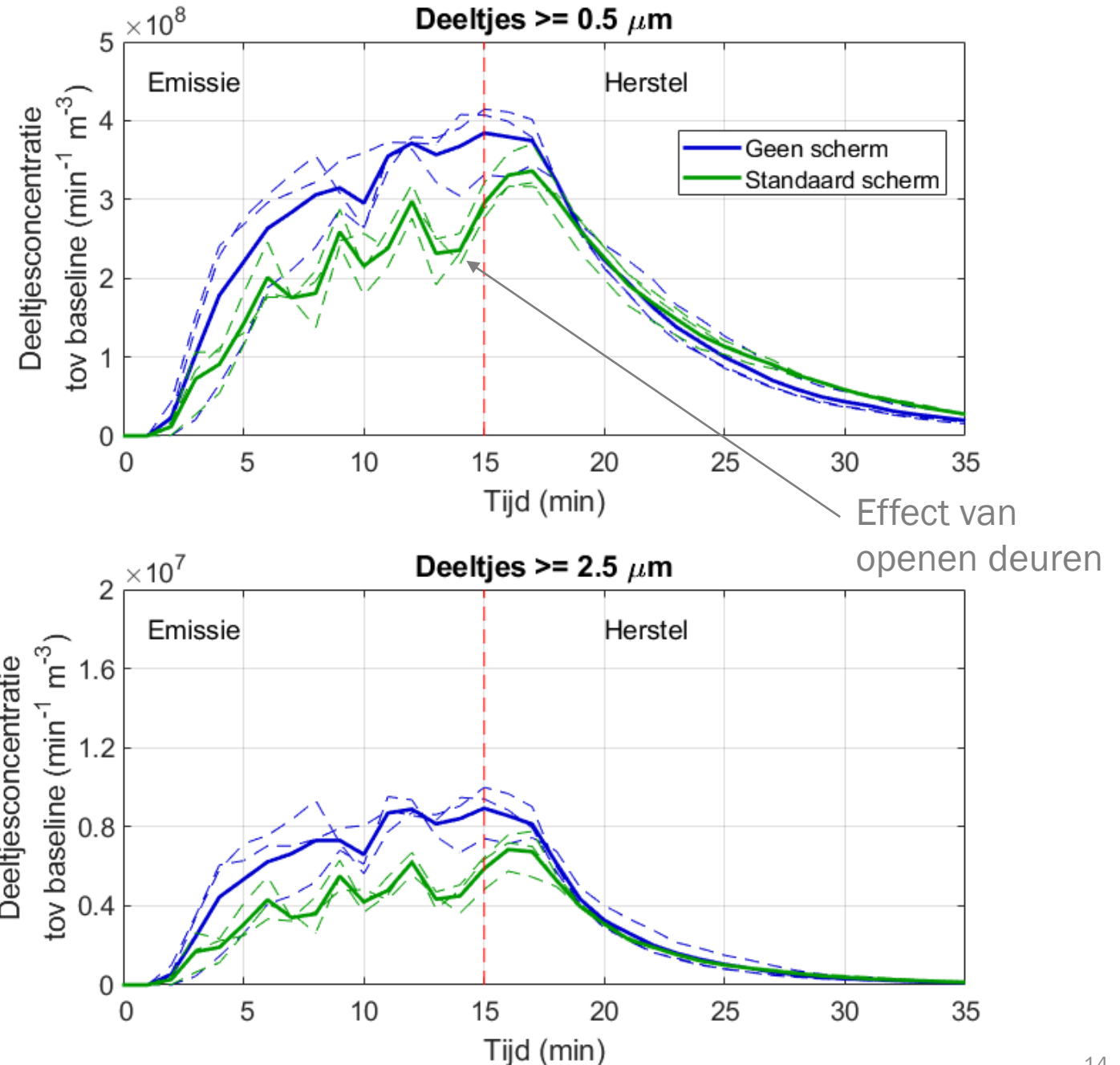
## RESULTATEN

### Effect met/zonder scherm:

- Emissiebron op 2<sup>e</sup> zitrij
- Deuren 4x open/dicht (
  - geen scherm: achterdeur open
  - met scherm: voor- en achterdeur open

### Resultaten:

- 28 – 40% reductie in deeltjesniveau bij bestuurder gedurende emissie (afh. van deeltjesgrootte)
- Tijdelijke reductie in deeltjesniveau door openen deuren



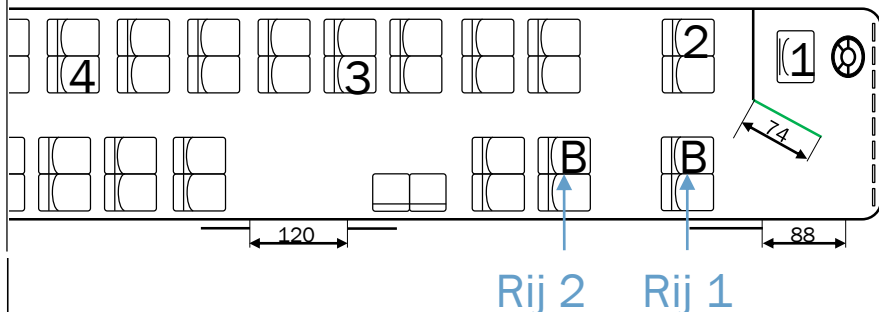
## RESULTATEN

### Effect positie emissiebron op rij 1 / rij 2:

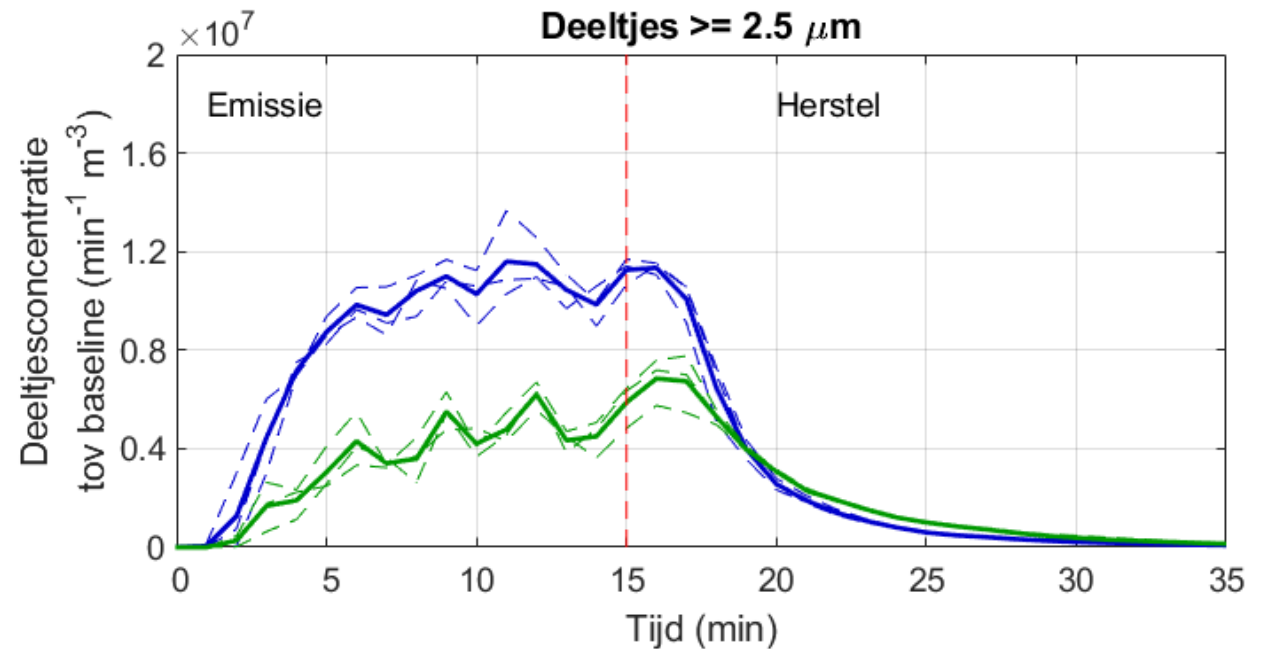
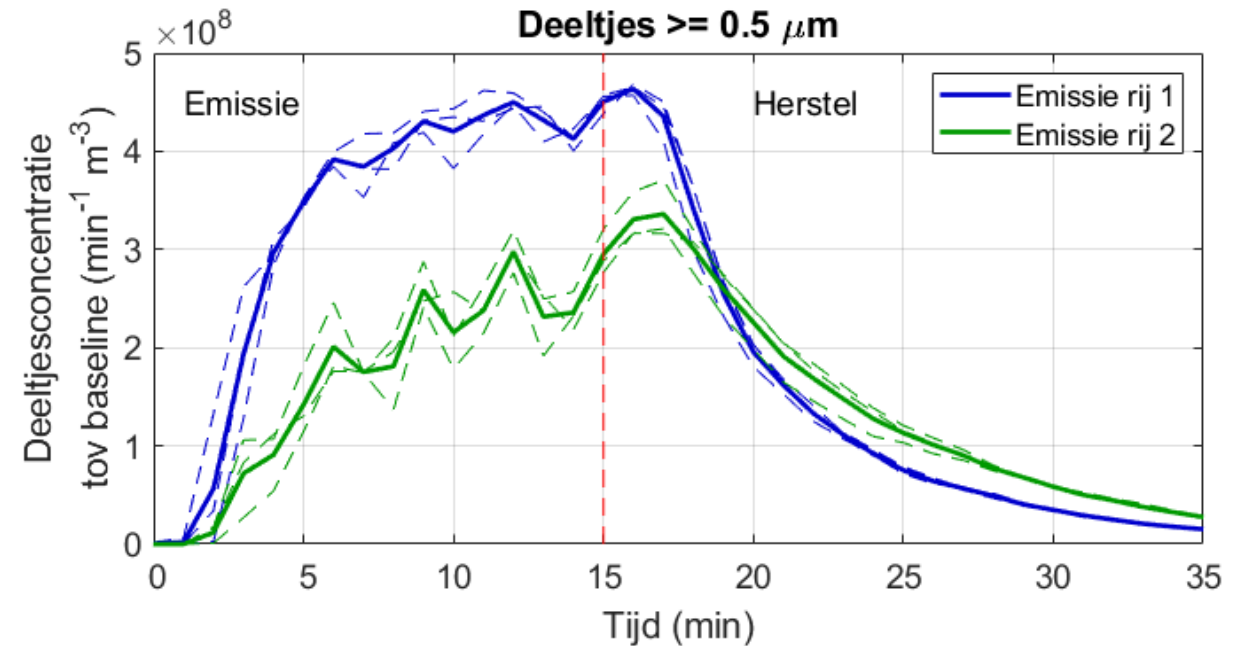
- Met standaardscherm
- Deuren 4x open/dicht

### Resultaten:

- 69 – 132% toename in deeltjesniveau bij bestuurder met bron op rij 1



Effectiviteit van schermen in het stads- en streekvervoer - Bus



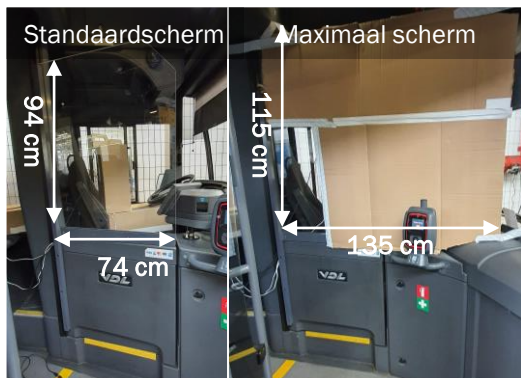
## RESULTATEN

### Effect afmetingen scherm:

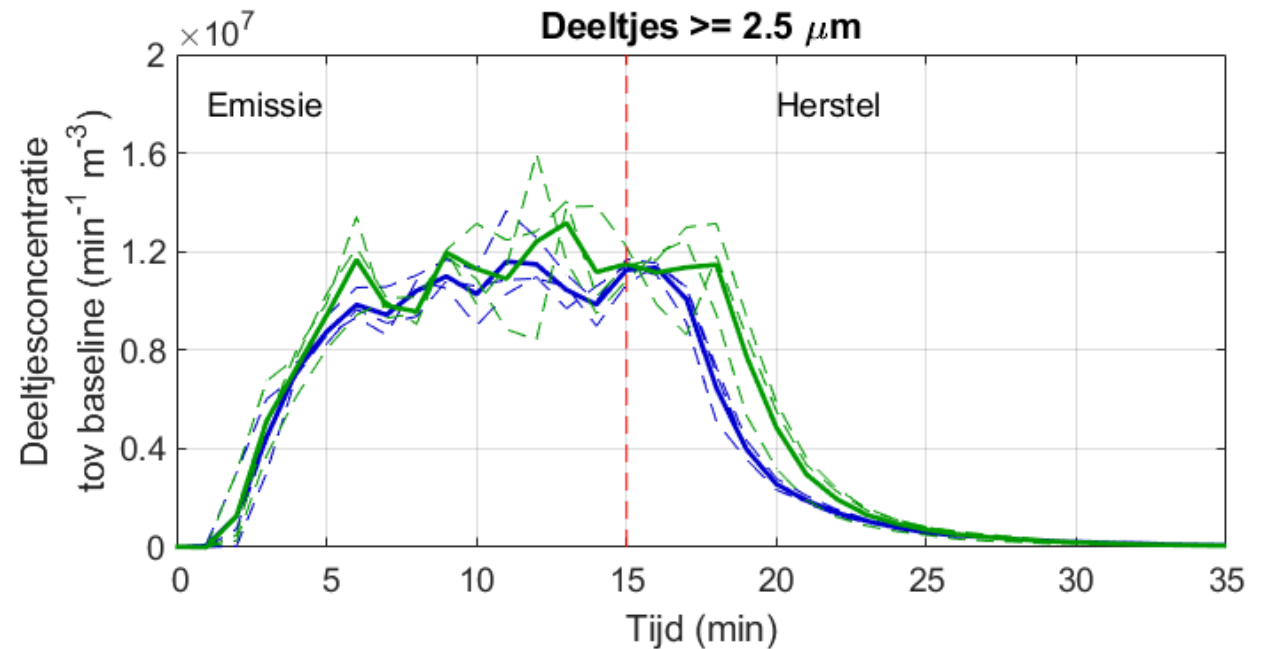
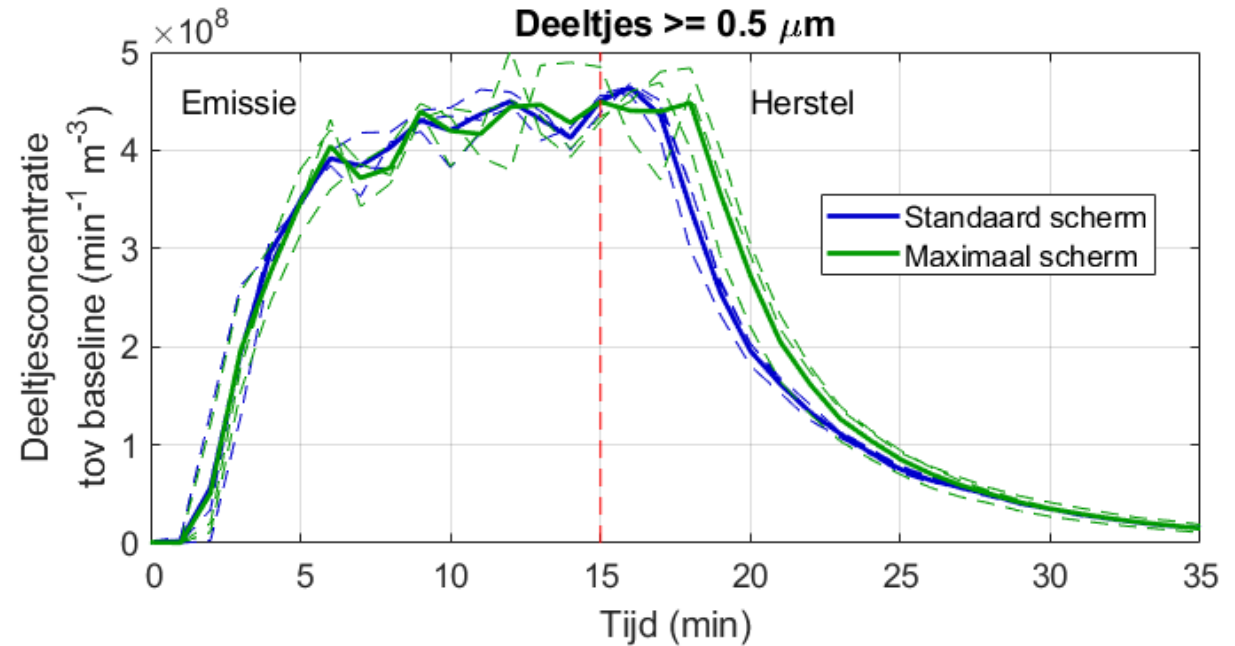
- Bron op zitrij 1
- Deuren 4x open/dicht

### Resultaten:

- -2 tot +7% verandering in deeltjesniveau bij bestuurder voor maximaal t.o.v. standaardscherm



Effectiviteit van schermen in het stads- en streekvervoer - Bus





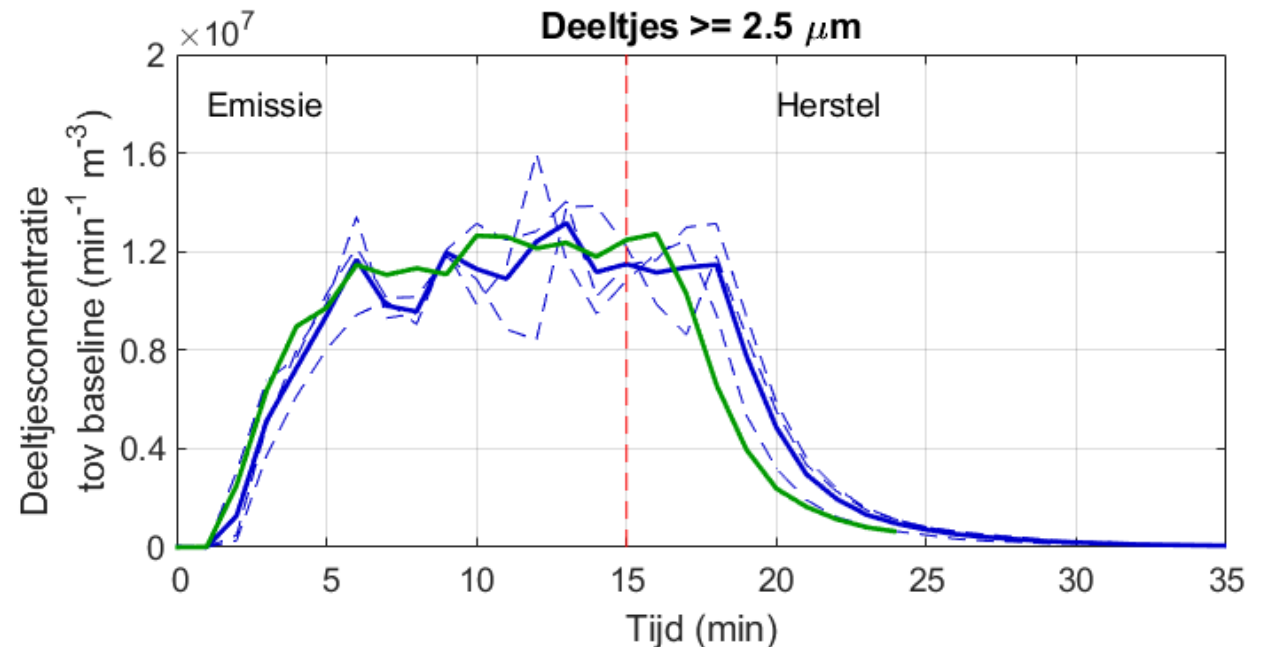
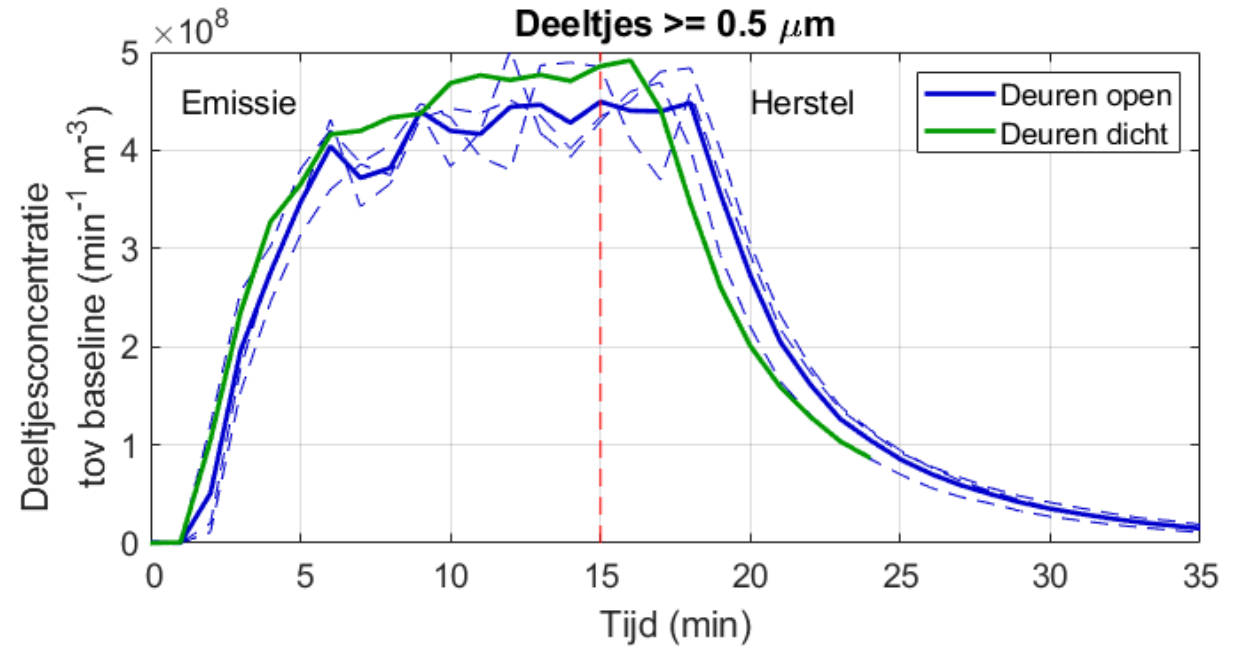
## RESULTATEN

### Effect openen deuren:

- Bron op zitrij 1
- Deuren 4x open/dicht of bleven gesloten
- Maximaal scherm

### Resultaten:

- 1 - 13% lagere deeltjesniveaus bij bestuurder als deuren 4x geopend werden (1% voor deeltjes  $\geq 0.3 \mu\text{m}$ ;  $\geq 10\%$  voor deeltjes  $\geq 0.5 \mu\text{m}$ )



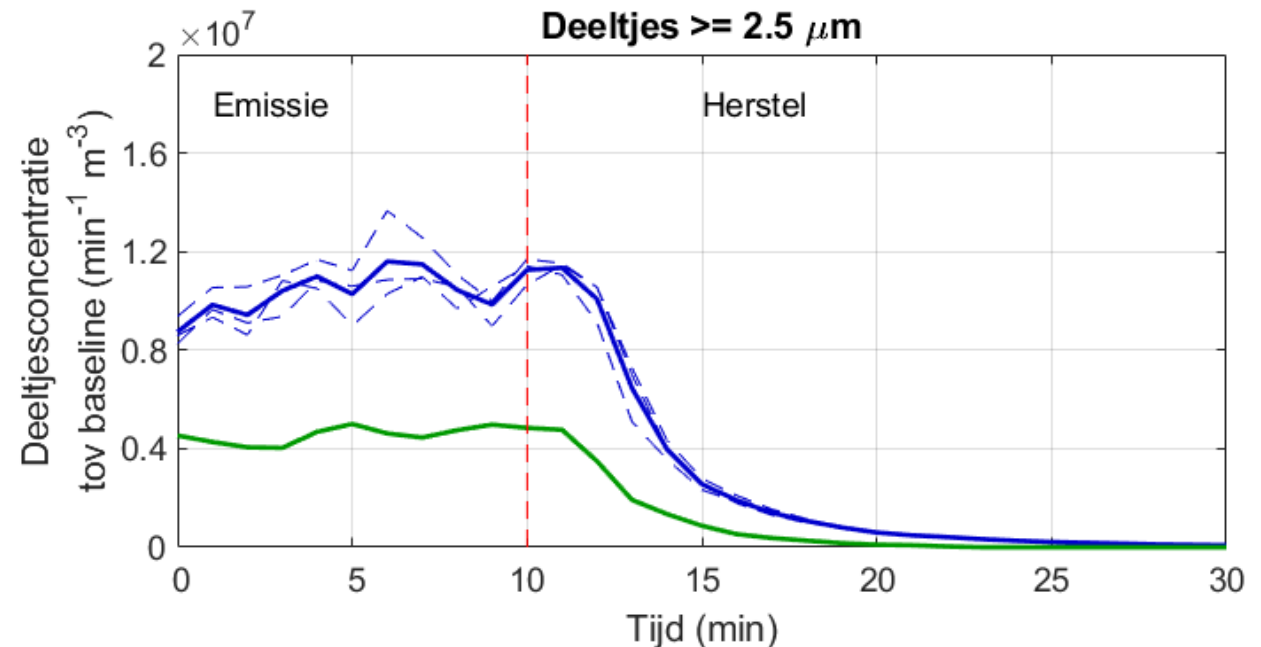
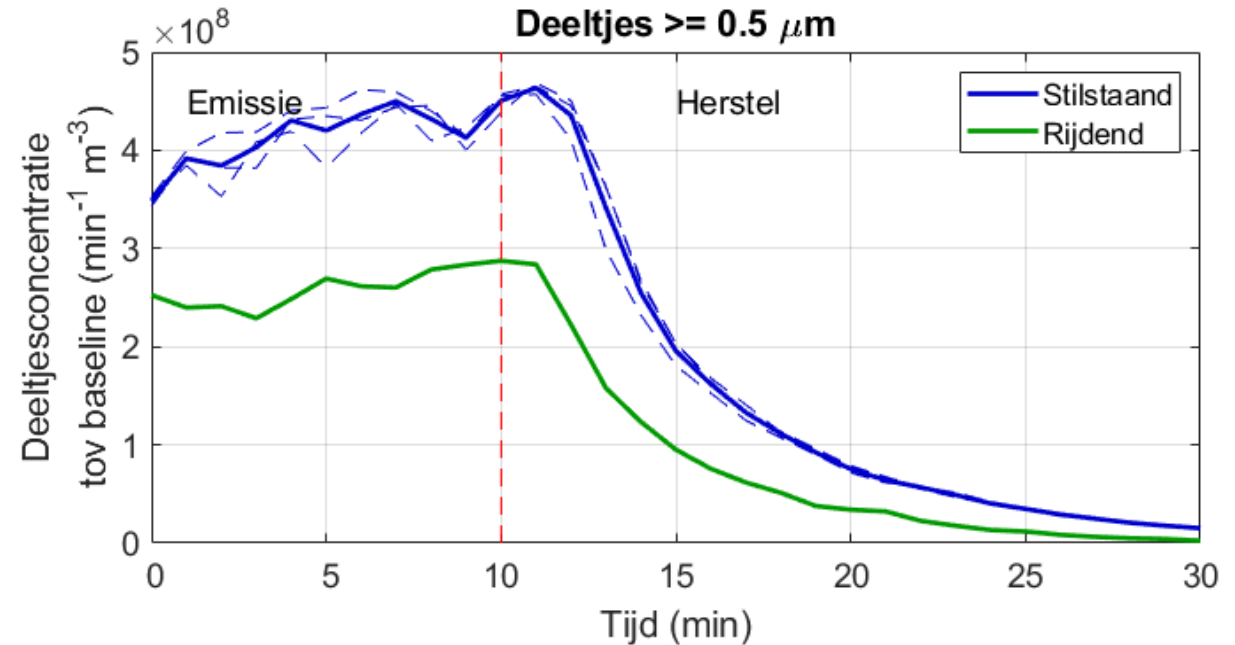
## RESULTATEN

### Effect rijden t.o.v. stil staan:

- Bron op zitrij 1
- Deuren 4x open/dicht
- Standaardscherm

### Resultaten:

- 32 – 53% reductie in deeltjesniveau bij bestuurder tijdens rijden voor deeltjes  $\geq 0.5 \mu\text{m}$
- 7% toename bij bestuurder tijdens rijden voor deeltjes  $\geq 0.3 \mu\text{m}$  (grafiek niet getoond)



## › SAMENVATTING RESULTATEN

1. Combinatie van scherm + openen van voor- en achterdeur zorgde voor een reductie in verspreiding van kleine deeltjes vanuit passagiersgedeelte naar bestuurderspositie (28 – 40%) t.o.v. alleen openen van achterdeur zonder scherm.
2. Verplaatsen van de emissiebron van rij 2 naar rij 1 zorgde voor een toename in deeltjesniveaus bij de bestuurder van 69 – 132%.
3. Gebruik van maximaal groot scherm i.p.v. standaardscherm zorgde niet of nauwelijks voor een verandering in deeltjesniveaus bij de bestuurder.
4. Openen van de deuren zorgt voor een afname van  $\geq 10\%$  in deeltjesniveaus  $\geq 0.5 \mu\text{m}$  bij de bestuurder.
5. Deeltjesniveaus bij de bestuurder waren tijdens het rijden aanzienlijk later dan in stilstand  $\geq 32\%$  voor  $\geq 0.5 \mu\text{m}$  (lichte toename voor  $\geq 0.3 \mu\text{m}$ ).

## › AANBEVELINGEN (1)

1. Het gebruik van kuchschermen minimaliseert directe druppeloverdracht tussen passagiers en bestuurder en reduceert (in combinatie met het openen van de voordeur) de hoeveelheid kleine deeltjes ( $\leq 5 \mu\text{m}$ ) die vanuit het passagiersgedeelte bij de bestuurder komen. **Daarom is het gebruik van dergelijke schermen bij gebruik van de voordeur aan te raden.** Wel dienen ze regelmatig gedesinfecteerd te worden, om indirecte overdracht van virusdeeltjes te voorkomen.
2. De onderzoeksresultaten geven geen aanleiding de schermen groter te maken dan de 'standaardschermen' beschreven in deze studie, daar dit niet of nauwelijks voor een verdere reductie in deeltjesniveaus bij de bestuurder zorgde.

## › AANBEVELINGEN (2)

3. Het openen van de voertuigdeuren zorgde voor een tijdelijke afname in deeltjesniveaus. Het is daarom aan te bevelen alle deuren regelmatig te openen (bijvoorbeeld bij elke halte).
4. Gebruik van een emissiebron op de eerste i.p.v. de tweede zitrij zorgde voor duidelijk hogere deeltjesniveaus bij de bestuurder. Het is daarom aan te raden de eerste rij ook bij gebruik van de voordeur niet voor passagiers vrij te geven (dit geldt ook voor staande passagiers).
5. In het algemeen geldt: hoe groter de toevoer van verse buitenlucht, hoe groter de reductie in aerosolniveaus. Daarom is het aan te bevelen zo veel mogelijk ventilatie met buitenlucht te gebruiken, alsmede deuren en ramen waar mogelijk te openen (mits daardoor geen luchtstroom in de voorwaartse richting ontstaat).

## › SUMMARY (1)

### **Main research question:**

Is it possible to use the front door of the bus for passenger entry, without increasing the likelihood of exposure to the SARS-CoV-2 virus to the driver (compared to the current situation, in which the front door is not used)?

### **Secondary questions:**

1. What is the effect of different sizes of the screen between the driver and the passengers on small particle dispersion (aerosols,  $\leq 5 \mu\text{m}$ ) from the passengers to the driver?
2. What is the effect of allowing passengers to use the front row to sit (instead of the second row, as in the current situation) on aerosol levels reaching the driver?
3. What is the effect of opening the bus doors (both front and rear) on aerosol levels reaching the driver from the passengers?

## › SUMMARY (2)

### Methods:

#### 1. Qualitative analysis:

Based on the scientific literature, possible SARS-CoV-2 transmission routes in buses from passengers to drivers were analyzed; in addition, the impact of the presence of a screen between driver and passengers was evaluated.

#### 2. Quantitative measurements:

Aerosol dispersion from a passenger seat to the driver position was measured under several conditions. Total aerosol levels at driver position during emission were compared between conditions.

Condition	Particle source location	Screen	Doors open	Test location	Number of measurements
1	2 <sup>nd</sup> row	None	Rear	Inside	3
2	2 <sup>nd</sup> row	Standard	Front and rear	Inside	3
3	1 <sup>st</sup> row	Standard	Front and rear	Inside	3
4	1 <sup>st</sup> row	Maximal	Front and rear	Inside	3
5	1 <sup>st</sup> row	Maximal	None	Inside	1
6	1 <sup>st</sup> row	Standard	Front and rear	Driving	1

## › SUMMARY (3)

### Conclusions:

1. Screens between driver and passenger minimize direct exposure to respiratory droplets and limit the possibility for direct physical contact (according to the WHO the two most important modes of transmission for SARS-CoV-2). Moreover, in combination with opening the front door, screens reduce the aerosol levels reaching the driver from the passenger seats. Therefore, use of these screens in buses (similar to the one used in the measurements) is recommended. These screens must be disinfected regularly (at least when switching drivers), to prevent indirect transmission of virus particles.
2. There is hardly any benefit of increasing the size of the screen beyond that considered in this study as the ‘standard screen’ (meeting RDW requirements) in terms of further reduction in aerosol levels reaching the driver.



## › SUMMARY (4)

### Conclusions (continued):

3. Opening the bus doors caused a limited, temporary reduction in aerosol levels at the driver position. Therefore, it is recommended to open the doors regularly when standing still, for example at every bus stop.
4. Putting the aerosol generator on the first passenger row instead of the second one caused a large increase in aerosol levels reaching the driver. Therefore, it is recommended to further prohibit passenger access to the first row, as is already current practice.
5. In general, increased ventilation with outside air reduces aerosol levels in the bus. Therefore, it is recommended to use any measures that will increase ventilation.

**BEDANKT VOOR  
UW AANDACHT**

**TNO** innovation  
for life



## › LITERATUURREFERENTIES

Otter, J. A., Donskey, C., Yezli, S., Douthwaite, S., Goldenberg, S. D., & Weber, D. J. (2016). Transmission of SARS and MERS coronaviruses and influenza virus in healthcare settings: The possible role of dry surface contamination. *Journal of Hospital Infection*, 92(3), 235–250.

<https://doi.org/10.1016/j.jhin.2015.08.027>

TNO 2020 R11200: Souman, J. L. (2020). *De effectiviteit van schermen in het stads- en streekvervoer*. TNO IVS.

WHO (2020, July 9). *Transmission of SARS-CoV-2: implications for infection prevention precautions. Scientific brief*. <https://www.who.int/publications/i/item/modes-of-transmission-of-virus-causing-covid-19-implications-for-ipc-precaution-recommendations>

(Voor een uitgebreide literatuurlijst, zie [TNO 2020 R11200, H. 6](#))

# STREEKBUS

Verhouding deeltjesniveaus t.o.v. achtergrondniveau tijdens emissieperiode (conditie B t.o.v. A):

Conditie A	Conditie B	Meetpunt	≥ 0.3 µm	≥ 0.5 µm	≥ 1.0 µm	≥ 2.5 µm
Zonder scherm	Standaard-scherm	1	0.72	0.69	0.63	0.60
		2	0.83	0.77	0.68	0.68
		3	1.08	1.15	1.23	1.32
		4	1.09	1.15	1.17	1.16
Emissie rij 1	Emissie rij 2	1	0.59	0.53	0.47	0.43
		2	0.71	0.60	0.51	0.49
		3	1.23	1.36	1.58	1.83
		4	1.36	1.50	1.62	1.70
Standaard-scherm	Maximaal scherm	1	0.98	0.99	1.02	1.07
		2	0.97	0.97	0.97	0.98
		3	0.91	0.96	0.85	0.85
		4	0.92	0.91	0.87	0.85
Stilstaand	Rijdend	1	1.07	0.68	0.59	0.47
		2	1.48	0.91	0.90	0.86
		3	1.71	1.18	1.23	1.36
		4	1.84	1.25	1.14	1.05
Deuren open	Deuren dicht	1	1.01	1.13	1.13	1.10
		2	1.05	1.10	1.16	1.16
		3	1.01	1.08	1.18	1.13
		4	1.05	1.06	0.97	0.92

Verhouding ventilatievouden tijdens herstelperiode (conditie B t.o.v. A):

Conditie A	Conditie B	Meetpunt	≥ 0.3 µm	≥ 0.5 µm	≥ 1.0 µm	≥ 2.5 µm
Zonder scherm	Standaard-scherm	1	0.86	0.83	0.85	0.88
		2	0.85	0.84	0.88	0.89
		3	0.81	0.82	0.84	0.85
		4	0.81	0.83	0.88	0.92
Emissie rij 1	Emissie rij 2	1	0.82	0.80	0.83	0.88
		2	0.84	0.84	0.86	0.87
		3	0.81	0.83	0.89	0.93
		4	0.81	0.84	0.88	0.92
Standaard-scherm	Maximaal scherm	1	1.12	1.12	1.15	1.25
		2	1.05	1.05	1.09	1.11
		3	1.02	1.04	1.09	1.16
		4	1.02	1.02	1.06	1.11
Stilstaand	Rijdend	1	1.52	1.39	1.61	1.85
		2	1.21	1.18	1.19	1.19
		3	1.14	1.11	1.12	1.32
		4	1.09	1.08	1.07	1.17
Deuren open	Deuren dicht	1	1.09	1.11	1.16	1.18
		2	0.86	0.98	1.06	1.08
		3	0.78	0.87	0.93	0.94
		4	0.73	0.85	0.94	0.96