TNO innovation for life

EFFECTIVITEIT VAN VENTILATIE EN FILTERS IN BUURTBUSSEN

JAN SOUMAN, ERIC CORNELISSEN, SYTZE KALISVAART

8 oktober 2020

Foto: Bart van Leersum

INHOUD

EFFECTIVITEIT VAN VENTILATIE EN FILTERS IN BUURTBUSSEN

01. VRAAGSTELLING

02. ONDERZOEKSAANPAK

03. OPZET KWANTITATIEF ONDERZOEK DEELTJESVERSPREIDING

04. RESULTATEN

05. AANBEVELINGEN

TNO innovation for life

VRAAGSTELLING

Hoofdvraag:

Kan door extra ventilatie in buurtbussen met kuchscherm een vergelijkbaar aerosolniveau en mate van deeltjesverdunning bereikt worden als in de streekbus?*

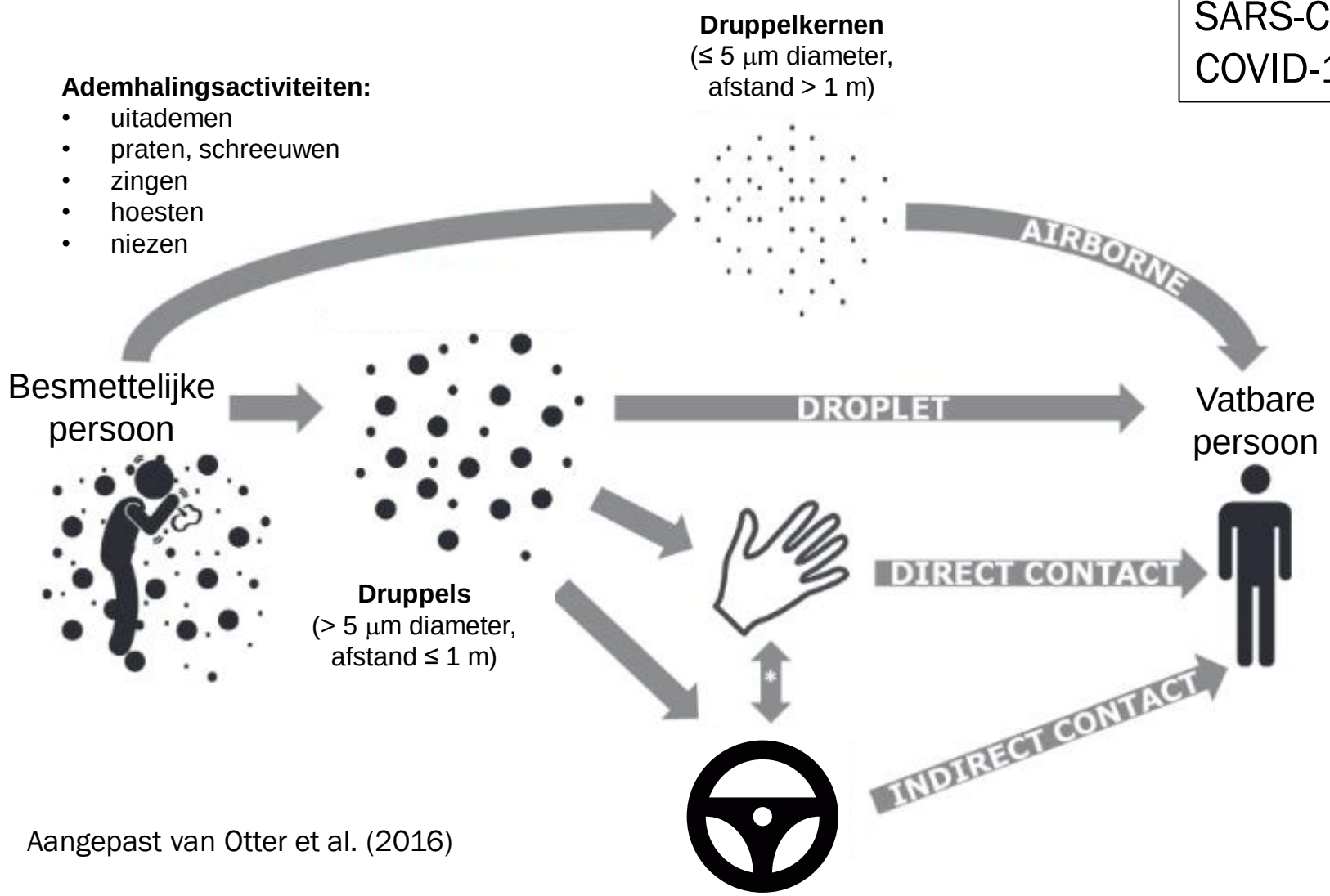
Secundaire vragen:

1. Is hierbij extra luchtaanvoer of -afvoer het belangrijkst?
2. Kan een alternatief filter (bijvoorbeeld HEPA- of elektrostatisch filter) helpen om de aerosolniveaus in de buurtbus vergelijkbaar te maken aan dat van de streekbus met kuchscherm?
3. Wat is de invloed van rijden of stilstaan op deeltjesverspreiding en -verdunning?
4. Wat is de invloed van de breedte van de deuropening (dubbelblad, enkelblad, zijzwenkdeur) op aerosolniveaus bij het herhaald openen en sluiten van de deur?

* Streekbus met kuchscherm en regelmatig openen van voor- en achterdeur

OVERDRACHTSROUTES SARS-COV-2

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



Aangepast van Otter et al. (2016)

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

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 kuchscherm van voldoende afmetingen minimaliseert de blootstelling aan grotere (> 5 μm) druppels en bemoeilijkt het directe fysieke contact. Virusdeeltjes in grotere druppels kunnen neerslaan op oppervlakken en objecten (incl. kuchschermen) en nog enige tijd (uren tot dagen) actief blijven. Om de kans op indirecte overdracht te minimaliseren dienen schermen daarom regelmatig gedesinfecteerd te worden.
2. Kleinere zwevende deeltjes (≤ 5 μm) die vrijkomen bij het ademen/spreken/ niezen/hoesten vormen ook een mogelijke overdrachtsroute. Het effect van schermen en ventilatie op deze route is nader onderzocht in deze studie.

ONDERZOEKSAANPAK

1. **Luchtstroomvolumemetingen ventilatoren:**
   - rijdend versus stilstaand
   - luchttoevoer en -afvoer
   - kleine en grote ventilatoren
   - recirculatie-unit

2. **Kwantitatieve metingen van aerosolverspreiding in buurtbussen:**
   - zonder maatregelen
   - met extra luchtafvoer via ventilatoren
   - met luchtfiltering
   - met extra luchtafvoer en filtering
   - vergelijking midibus – buurtbus
   - vergelijking enkelblads – dubbelbladsdeur bij openen
   - vergelijking buurtbus – streekbus

ONDERZOEKSOPZET KWANTITATIEVE METINGEN

De verspreiding van kleine zwevende deeltjes (≤ 5 μm) in de buurtbus werd gemeten door gedurende 15 min dergelijke aerosolen te genereren vanaf de voorste passagiersstoel aan de rechterkant op meer dan 1.5 m van de chauffeur. Dit staat voor de verspreiding door een besmettelijke persoon in de bus. Op de bestuurdersstoel en op 3 passagiersstoelen werd gemeten hoe het deeltjes-niveau 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 extra luchtafvoer, van luchtfiltering en van combinaties van beide op de gemeten deeltjesconcentraties konden worden vastgesteld. De resultaten werden vergeleken met die in de buurtbus zonder extra ventilatie of filters en met een streekbus (met kuchscherm en regelmatig openen van de deuren).

LUCHTSTROOMVOLUMEMETINGEN

Ventilator	Stand	Dashboard-ventilatie	Snelheid (km/h)	Luchtstroom-volume (m^3/h)
Klein	Toevoer	0	0	90-130
Klein	Toevoer	1	0	50-55
Klein	Toevoer	1	80	20-60
Klein	Afvoer	0	0	190-200
Klein	Afvoer	1	0	205-220
Klein	Afvoer	1	80	205-220
Groot	Afvoer	1	0	280-340
Groot	Afvoer	2	0	300-370

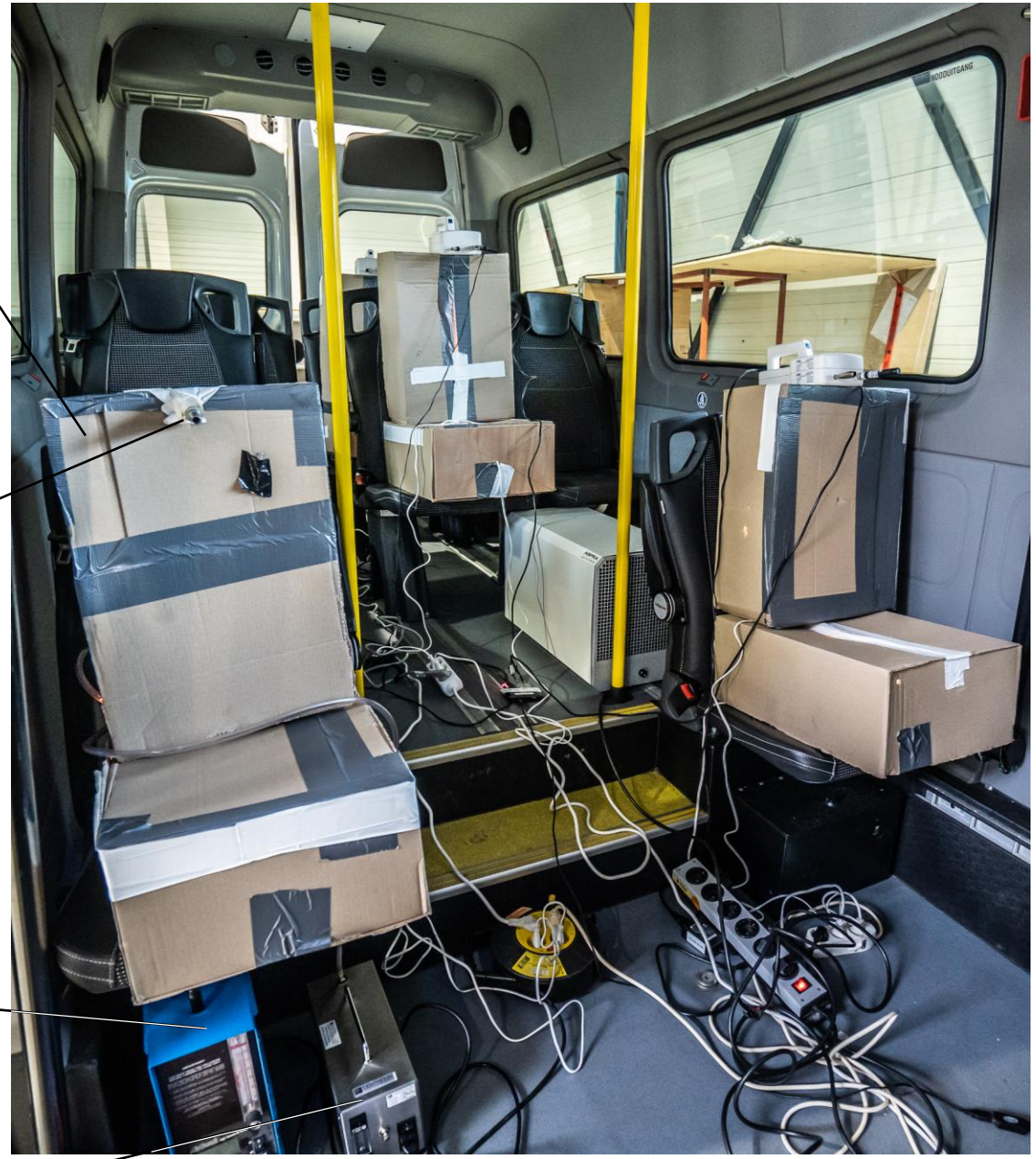
Kleine dakventilator (230 mm)

Grote dakventilator (258 mm)

- Luchttoevoer via extra ventilator minder effectief, zeker bij hogere dashboardventilatiestand / snelheid
- Luchtafvoer heeft groter effect, niet beperkt door ventilatie of rijsnelheid

ONDERZOEKSOPZET

- Deeltjesemissie (≤ 5 μm) in passagiersgedeelte met verwarmde lucht (ca. 33 °C). Aerosolen werden gevormd door verneveling van olie.
- Metingen (1x/min) op bestuurdersstoel en 3 passagiersstoelen (deeltjes ≥ 0.3 μm en < 5.0 μm gemeten)
- Passagiers gesimuleerd met verwarmde kartonnen dozen met juiste hoogte, volume en temperatuur

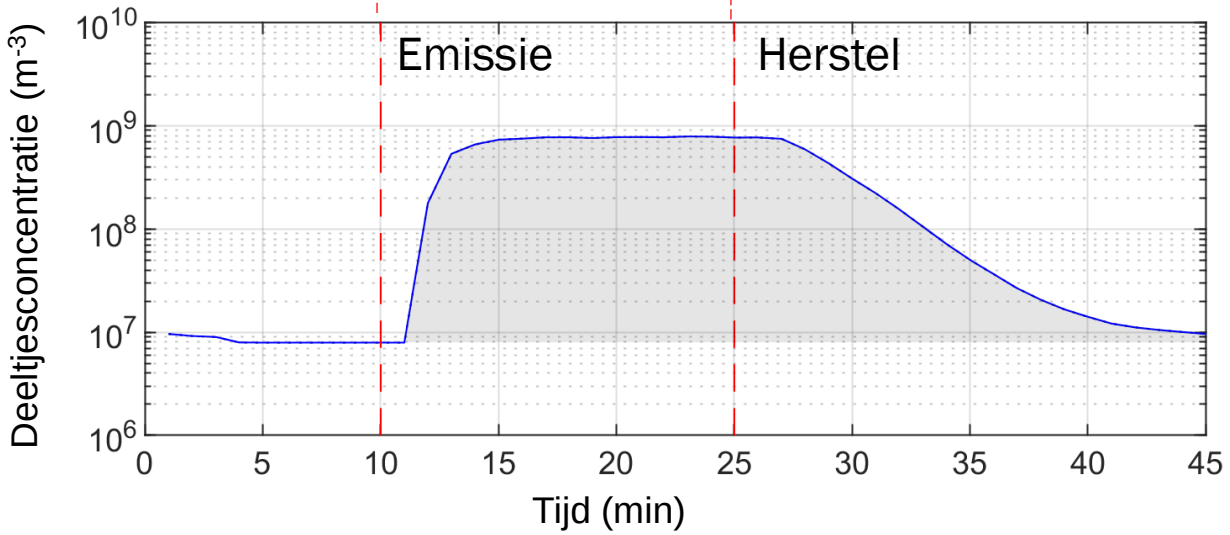


MEETPROCEDURE

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

Deeltjesemissie: simuleert aanwezigheid van besmettelijke persoon

Herstel: afname in deeltjes nadat deeltjesbron weg is

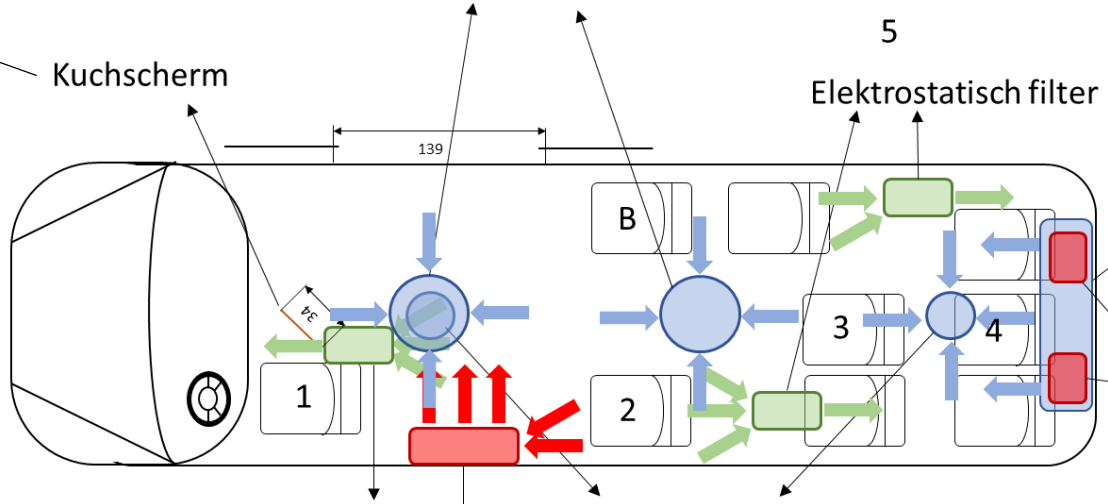


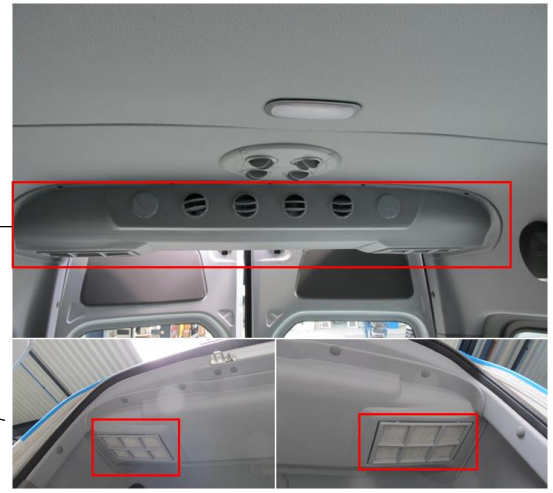
gemiddeld deeltjesniveau

totaal aantal deeltjes gemeten boven achtergrondniveau gedurende emissie/herstel

MEETOPSTELLING BUURTBUS

B = emissiebron
1-5 = meetpunten





UITGANGSSITUATIE

Buurtbus

- zonder maatregelen

Streekbus

- kuchscherm
- 4x deuren open

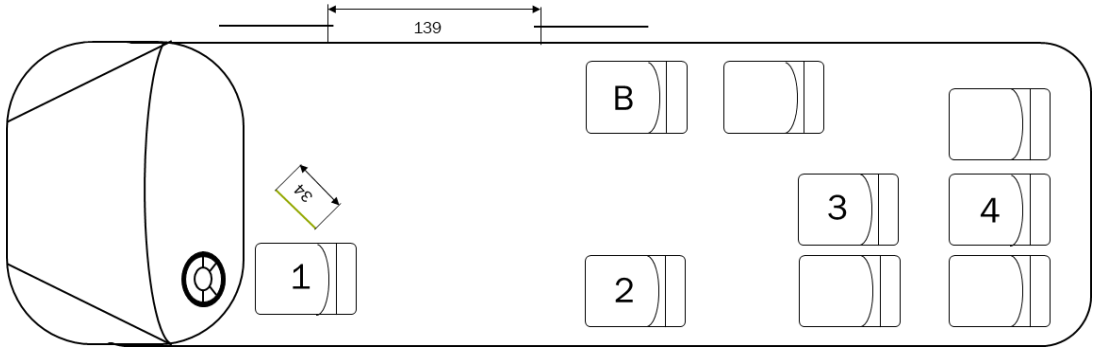
BUURTBUS t.o.v. STREEKBUS

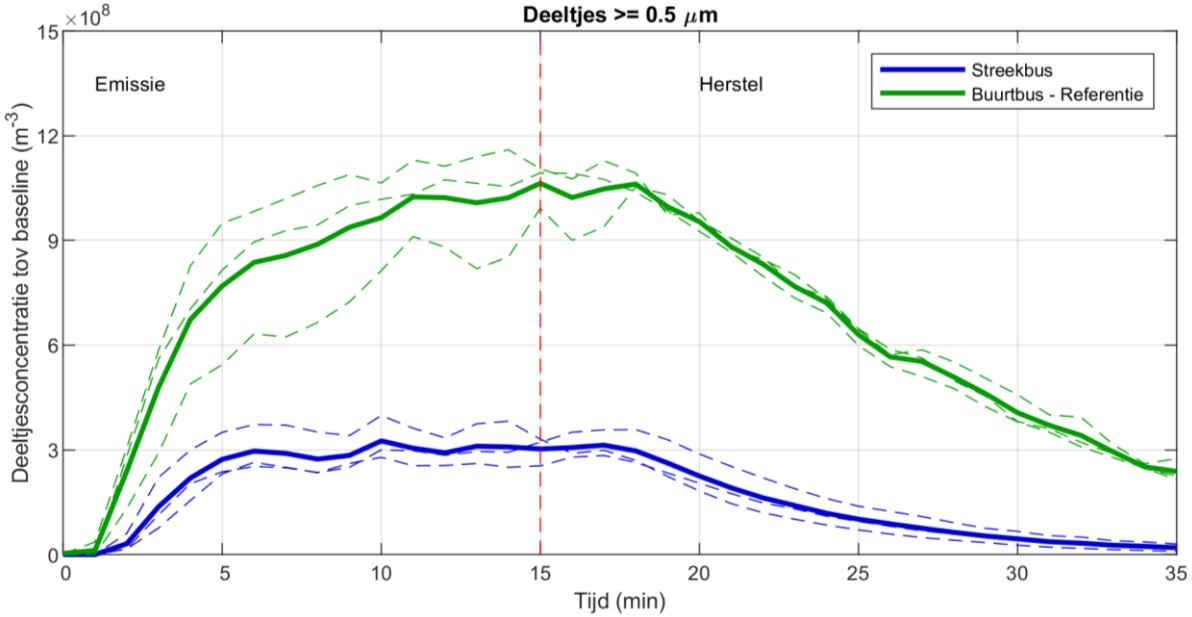
Meetpunt	≥ 0.3 µm	≥ 0.5 µm	≥ 1.0 µm	≥ 2.5 µm
1 (Chauffeur)	1.98	3.23	7.29	10.83
2 (Passagier 1)	1.48	2.27	4.31	6.01
3 (Passagier 2)	1.34	1.81	2.89	4.64
4 (Passagier 3)	1.53	2.34	5.05	7.59

Totale concentratie deeltjes tijdens emissie in buurtbus / streekbus

(> 1 = hoger niveau in buurtbus)

Concentratie deeltjes op alle meetpunten duidelijk hoger in buurtbus





Chauffeur (meetpunt 1)

EXPLORATIE MAATREGELEN

Buurtbus

- zonder maatregelen

Buurtbus

- kuchscherm
- extra ventilatie
- luchtfilters

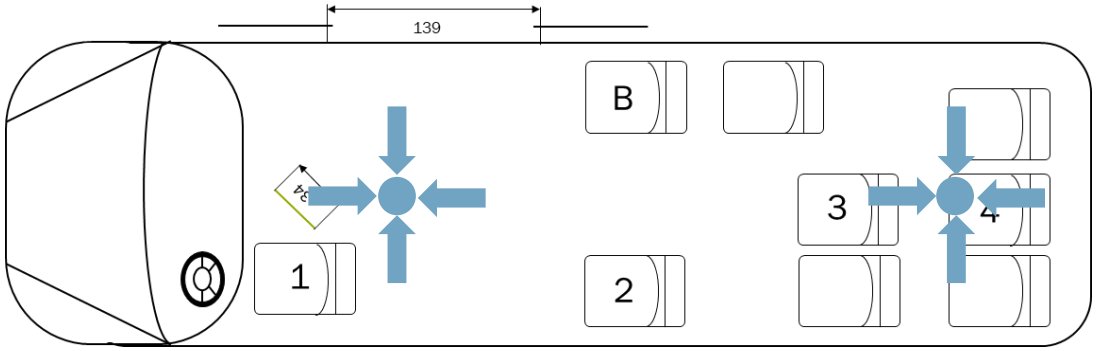
BUURTBUS MET 2 EXTRA DAKVENTILATOREN

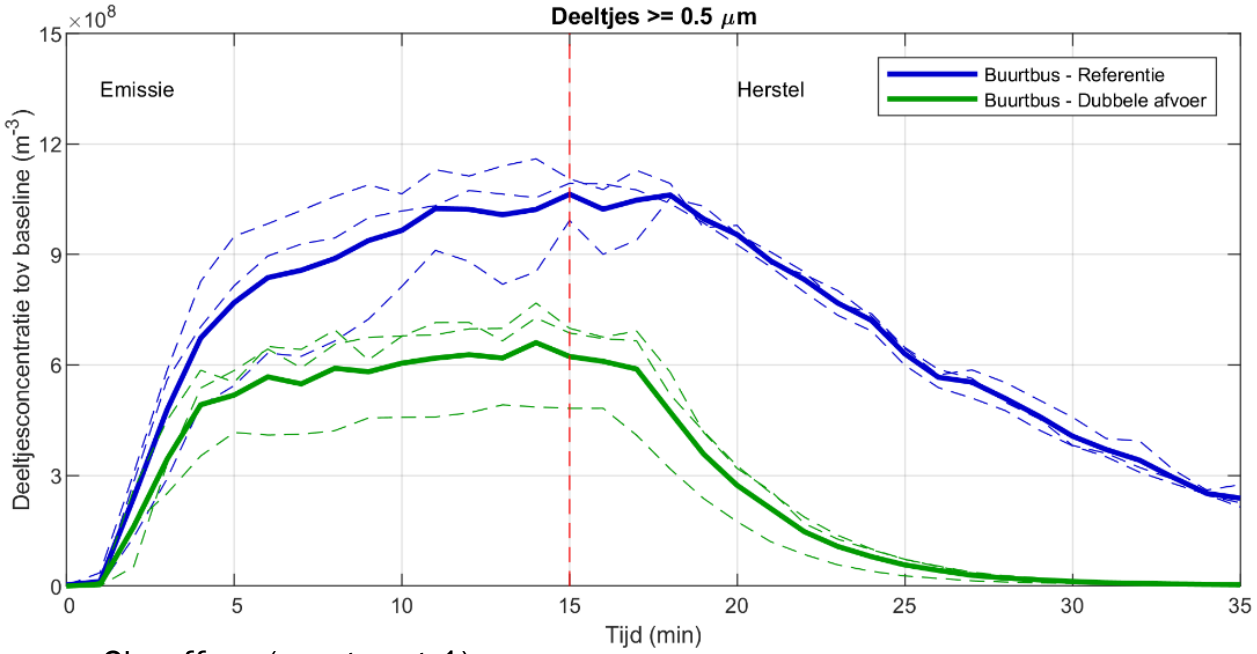
Meetpunt	≥ 0.3 µm	≥ 0.5 µm	≥ 1.0 µm	≥ 2.5 µm
1 (chauffeur)	0.81	0.67	0.47	0.47
2 (passagier 1)	0.99	0.94	0.88	0.94
3 (passagier 2)	1.03	1.11	1.32*	1.30*
4 (passagier 3)	0.98	0.94	0.80	0.82

Totale concentratie deeltjes tijdens emissie tov buurtbus referentie (< 1 = lager niveau met extra ventilatie)

* Waarden in grijs zijn hoger door meetfout in één van de drie herhalingen van de referentie-conditie; deze zijn bij de conclusies buiten beschouwing gelaten

Reductie in concentratie deeltjes op alle meetpunten (meest bij chauffeur)





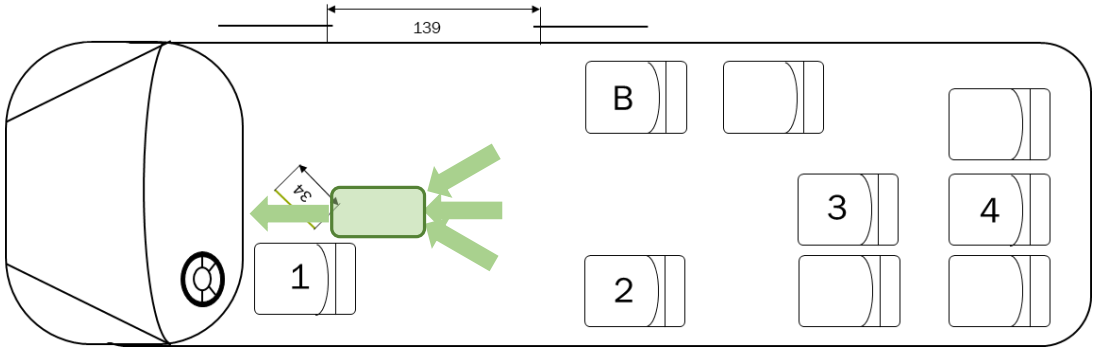
Chauffeur (meetpunt 1)

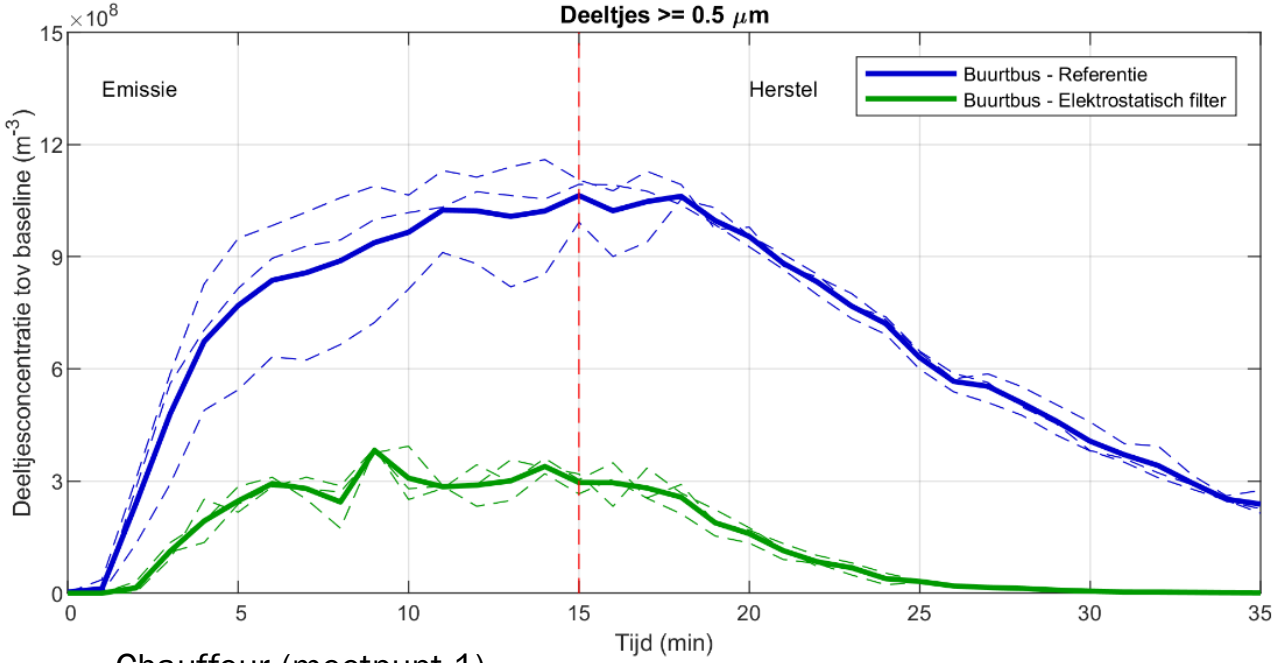
BUURTBUS MET ELEKTROSTATISCH FILTER NAAST CHAUFFEUR

Meetpunt	≥ 0.3 µm	≥ 0.5 µm	≥ 1.0 µm	≥ 2.5 µm
1 (chauffeur)	0.48	0.32	0.18	0.17
2 (passagier 1)	0.96	0.85	0.68	0.69
3 (passagier 2)	0.99	0.98	0.99	0.90
4 (passagier 3)	0.99	0.89	0.73	0.72

Totale concentratie deeltjes tijdens emissie t.o.v. buurtbus referentie
(< 1 = lager niveau met elektrostatisch filter)

Sterke reductie in concentratie deeltjes bij chauffeur





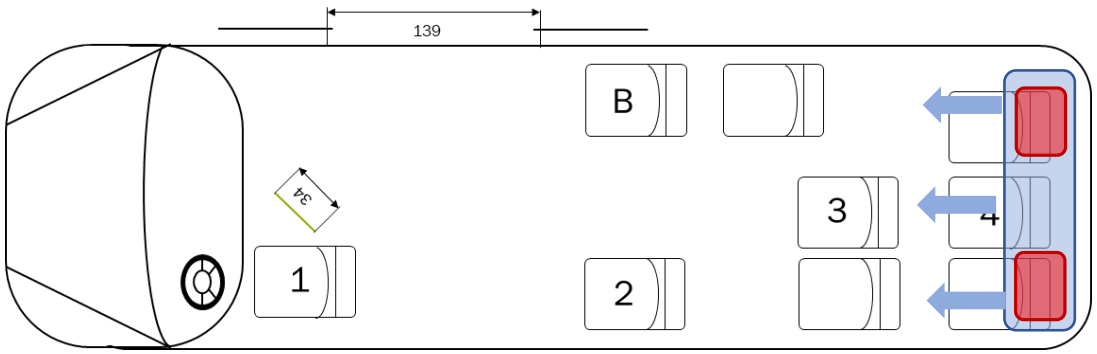
Chauffeur (meetpunt 1)

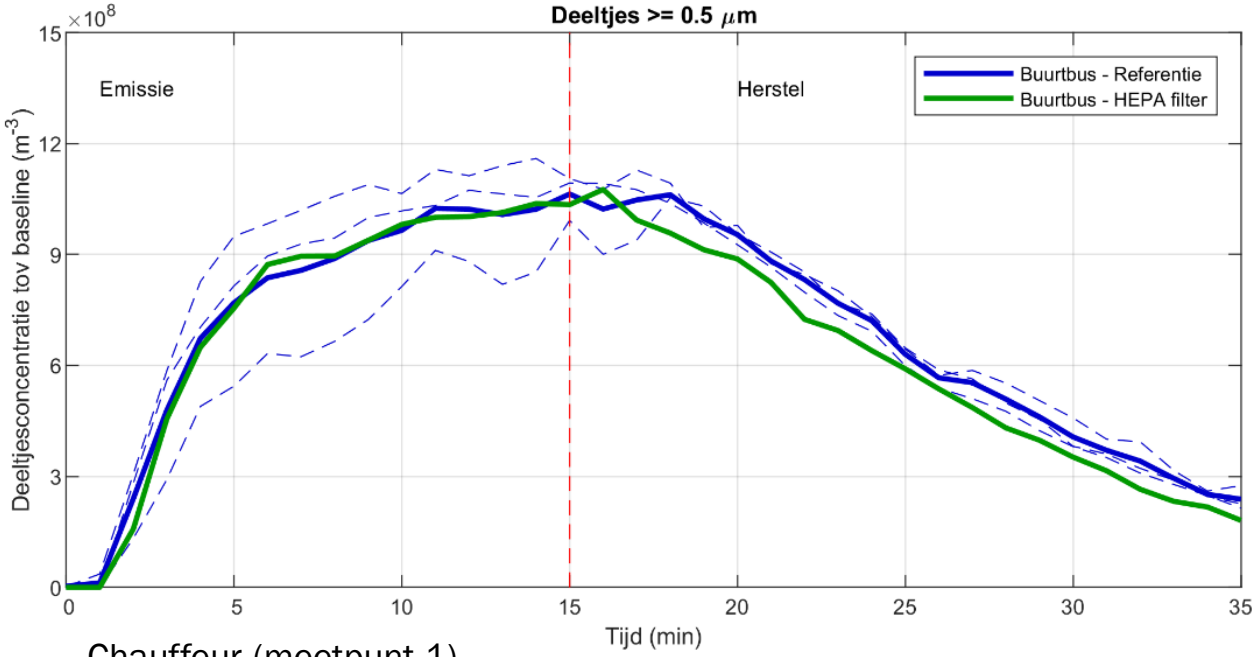
BUURTBUS MET HEPA-FILTER IN RECIRCULATIE

Meetpunt	≥ 0.3 µm	≥ 0.5 µm	≥ 1.0 µm	≥ 2.5 µm
1 (chauffeur)	1.00	1.04	1.00	1.00
2 (passagier 1)	0.95	0.99	0.86	0.88
3 (passagier 2)	0.97	1.14	1.41	1.38
4 (passagier 3)	0.98	1.00	0.96	0.97

Totale concentratie deeltjes tijdens emissie t.o.v. buurtbus referentie
(< 1 = lager niveau met HEPA-filter)

Passief HEPA-filter heeft vrijwel geen effect





Chauffeur (meetpunt 1)

BUURTBUS MET HEPA-FILTER IN RECIRCULATIE

Luchtstroomvolume door toevoerroosters van recirculatie (m^3/h):

Recirculatie-stand	Zonder HEPA-filter (met standaard voorfilter)	Met HEPA-filter (met standaard voorfilter)
1 (laagst)	50	38
3 (hoogst)	70	50

HEPA-filter in recirculatie is niet effectief:

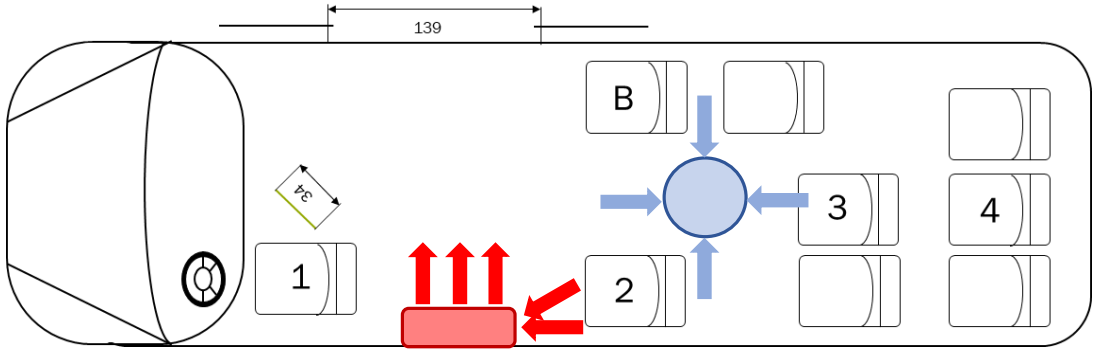
- Luchtstroomvolume door recirculatietoevoer is klein
- HEPA-filter reduceert dit volume nog verder
- Lucht kan ook buiten de toevoeropeningen om aangezogen worden

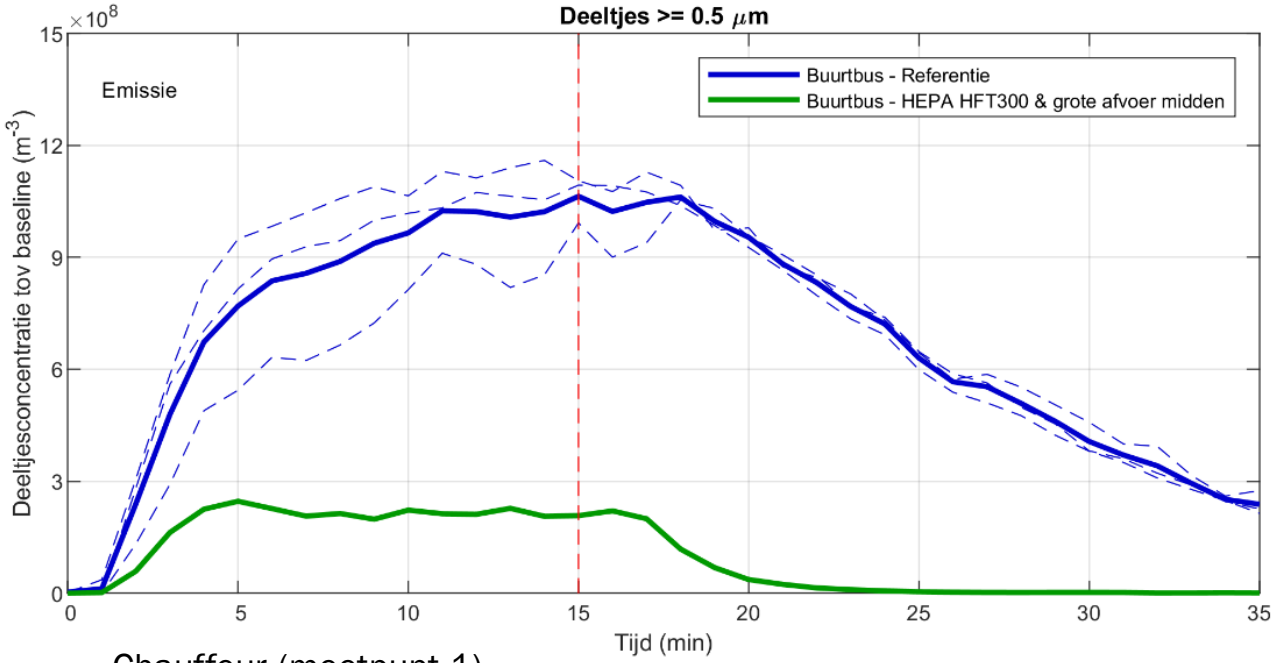
BUURTBUS MET ACTIEF HEPA-FILTER + AFVOERVENTILATOR

Meetpunt	≥ 0.3 µm	≥ 0.5 µm	≥ 1.0 µm	≥ 2.5 µm
1 (chauffeur)	0.38	0.25	0.14	0.13
2 (passagier 1)	0.52	0.35	0.19	0.19
3 (passagier 2)	0.93	0.88	0.76	0.59
4 (passagier 3)	0.80	0.65	0.40	0.39

Totale concentratie deeltjes tijdens emissie t.o.v. buurtbus referentie
(< 1 = lager niveau met HEPA-filter + ventilator)

HEPA-filter + ventilator reduceert deeltjes-niveaus sterk bij chauffeur en voorste passagier, ook reductie achterin de bus





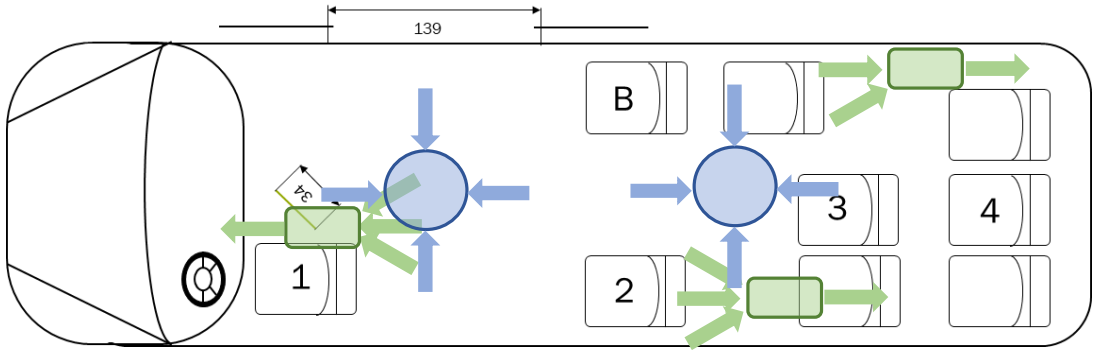
Chauffeur (meetpunt 1)

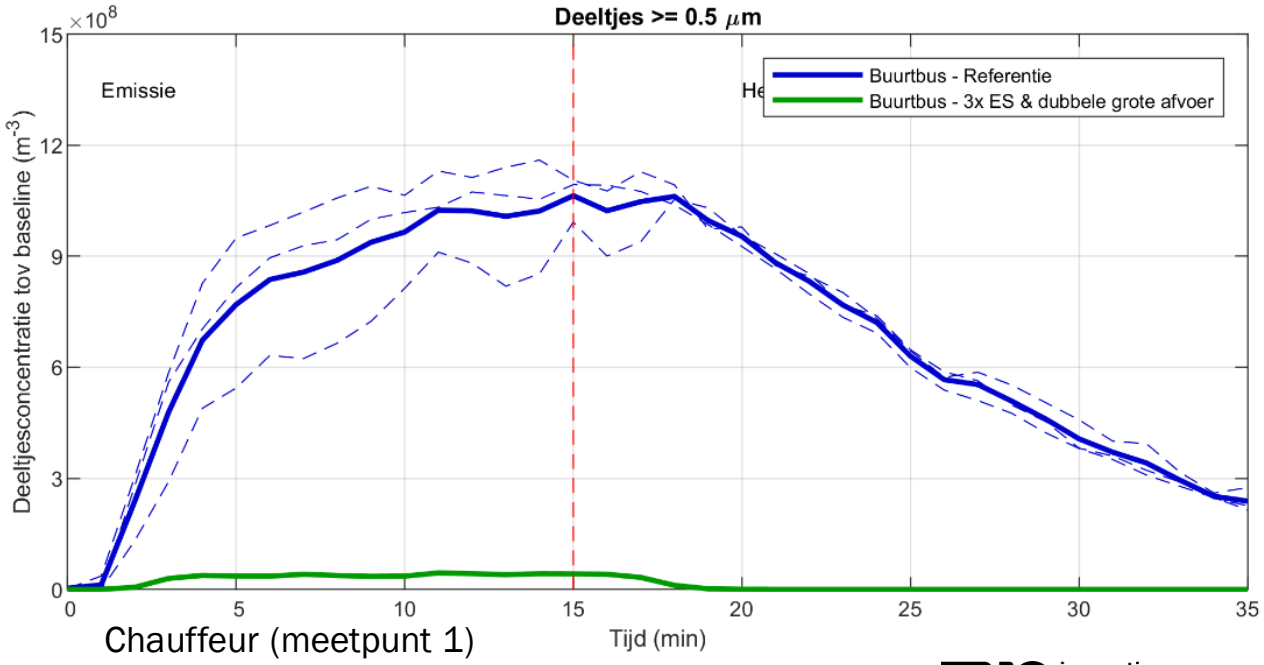
BUURTBUS MET 3 ELEKTROSTATISCHE FILTERS EN 2 AFVOERVENTILATOREN

Meetpunt	≥ 0.3 µm	≥ 0.5 µm	≥ 1.0 µm	≥ 2.5 µm
1 (chauffeur)	0.22	0.04	0.02	0.02
2 (passagier 1)	0.40	0.24	0.13	0.13
3 (passagier 2)	0.85	0.76	0.67	0.51
4 (passagier 3)	0.62	0.43	0.24	0.23

Totale concentratie deeltjes tijdens emissie t.o.v. buurtbus referentie
(< 1 = lager niveau ventilatie en filters)

Combinatie 3 ES filters + 2 grote ventilatoren zorgt voor grote reductie in deeltjesniveaus. Effect hangt deels af van recirculatie





VERGELIJKING STREEKBUS

Buurtbus

- kuchscherm
- extra ventilatie
- luchtfiltering

Streekbus

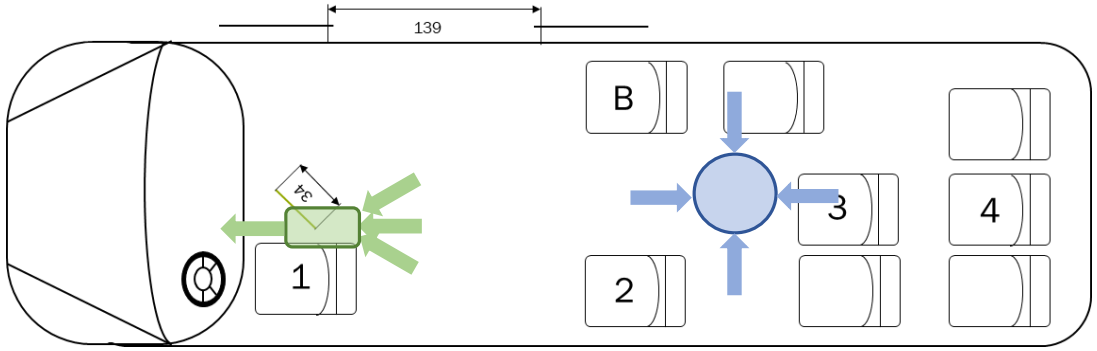
- kuchscherm
- 4x deuren open

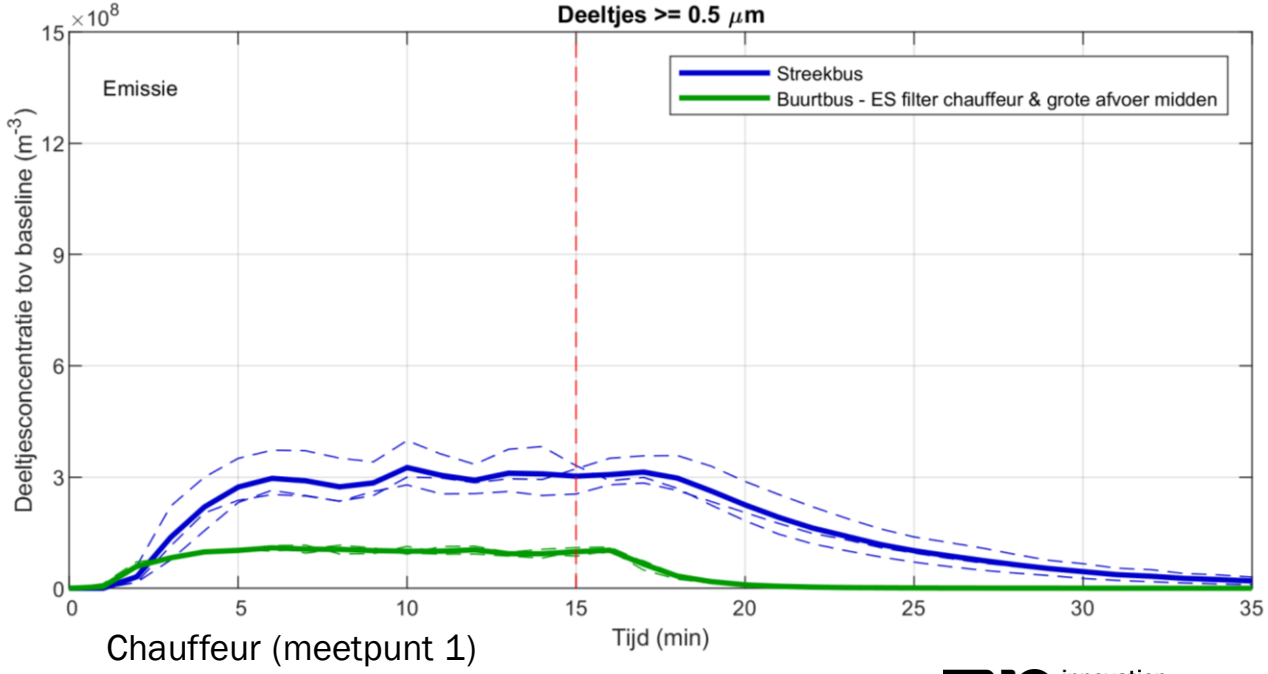
BUURTBUS MET ELEKTROSTATISCH FILTER NAAST CHAUFFEUR EN 1 AFVOERVENTILATOR t.o.v. STREEKBUS

Meetpunt	≥ 0.3 µm	≥ 0.5 µm	≥ 1.0 µm	≥ 2.5 µm
1 (chauffeur)	0.43	0.39	0.40	0.54
2 (passagier 1)	0.97	1.08	1.21	1.71
3 (passagier 2)	1.32	1.72	2.49	3.08
4 (passagier 3)	1.12	1.36	1.79	2.59

Totale concentratie deeltjes tijdens emissie t.o.v. streekbus referentie
(< 1 = lager niveau in buurtbus)

Voor chauffeur beter dan streekbus;
voor passagiers slechter dan streekbus





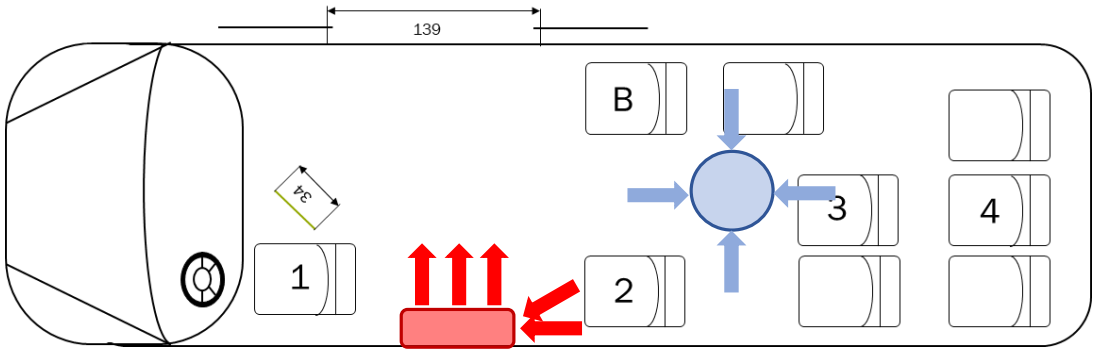
Chauffeur (meetpunt 1)

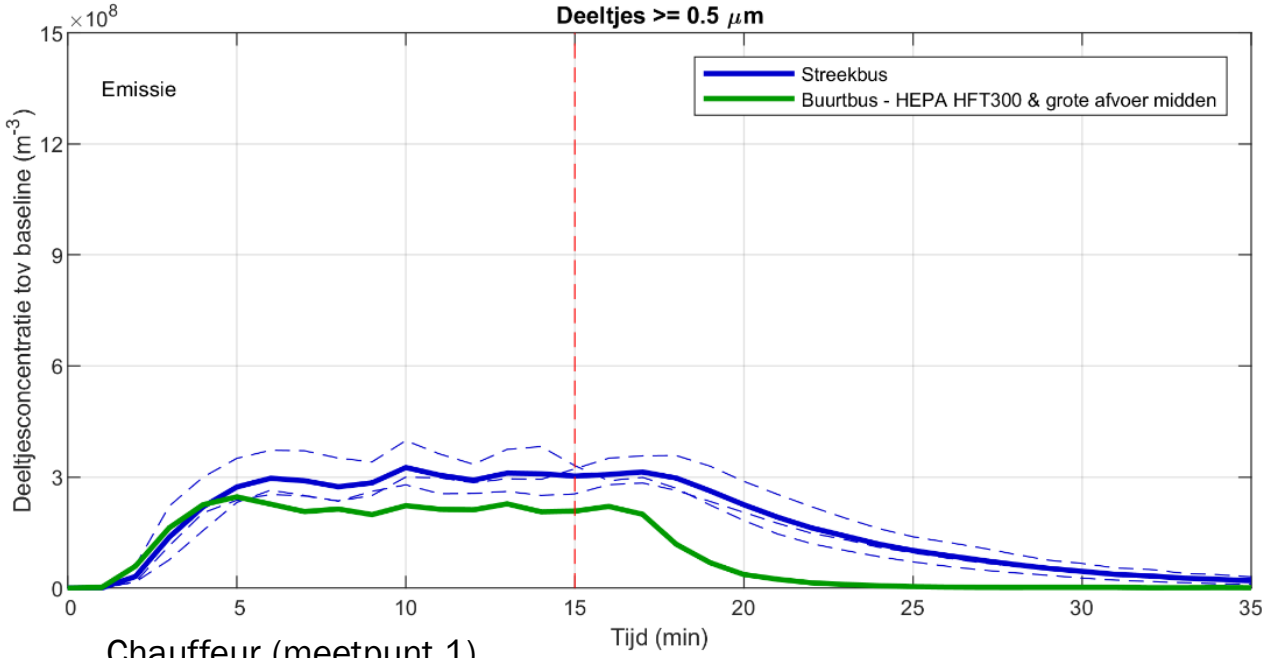
BUURTBUS MET ACTIEF HEPA-FILTER + AFVOERVENTILATOR t.o.v. STREEKBUS

Meetpunt	≥ 0.3 µm	≥ 0.5 µm	≥ 1.0 µm	≥ 2.5 µm
1 (chauffeur)	0.74	0.81	0.99	1.45
2 (passagier 1)	0.77	0.79	0.80	1.15
3 (passagier 2)	1.25	1.59	2.19	2.73
4 (passagier 3)	1.23	1.52	2.01	2.96

Totale concentratie deeltjes tijdens emissie t.o.v. streekbus referentie
(< 1 = lager niveau in buurtbus)

Voor zowel chauffeur als passagiers deels beter, deels slechter dan streekbus



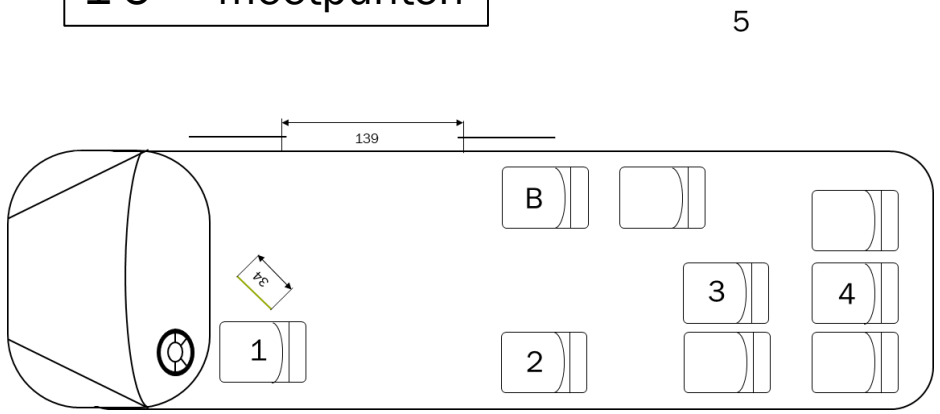


Chauffeur (meetpunt 1)

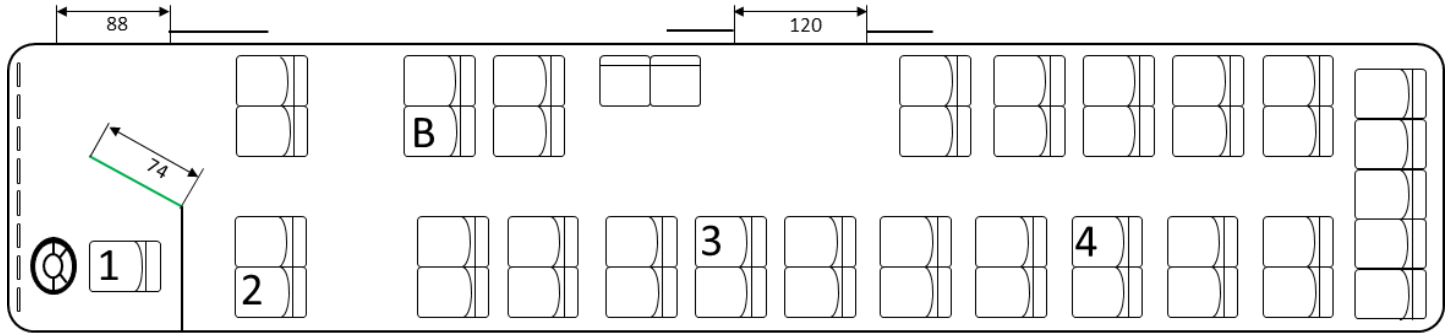
MEETOPSTELLING BUURTBUS VERSUS STREEKBUS

B = emissiebron
1-5 = meetpunten

Buurtbus



Streekbus



Afstand tot deeltjesbron (cm):

Meetpunt	Buurtbus	Streekbus
1	240	286
2	120	155
3	140	260
4	220	597

De meetpunten bevonden zich in de buurtbus dichter bij de deeltjesbron dan in de streekbus. Daardoor hogere deeltjes-concentraties verwacht!

MIDIBUS

Midibus

- zonder maatregelen

Buurtbus

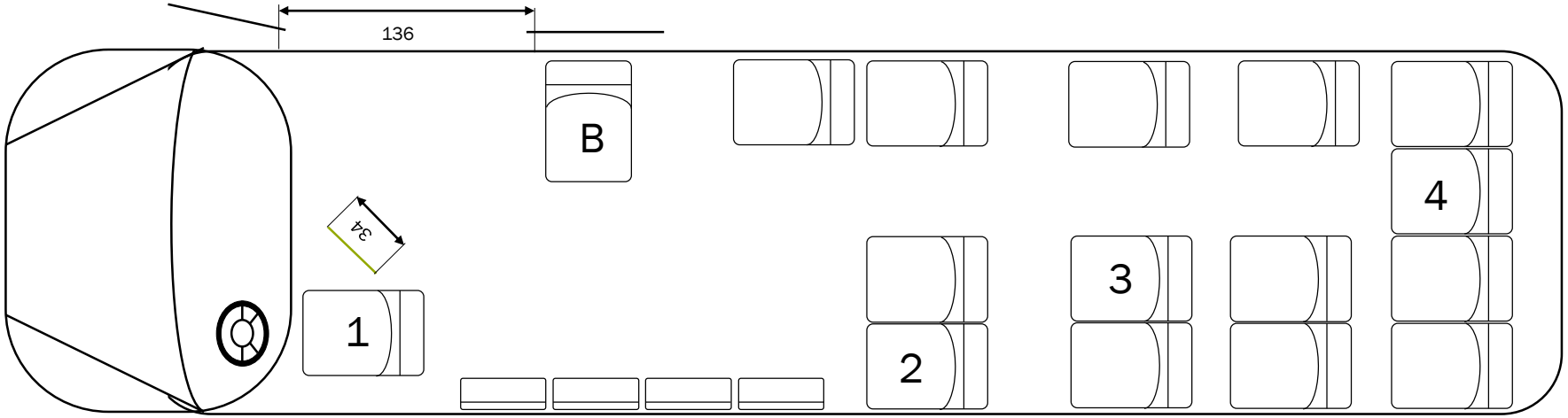
- zonder maatregelen

BUURTBUS VERSUS MIDIBUS

Meetpunt	≥ 0.3 µm	≥ 0.5 µm	≥ 1.0 µm	≥ 2.5 µm
1 (Chauffeur)	1.18	1.11	1.23	1.23
2 (Passagier 1)	1.05	0.94	0.93	0.91
3 (Passagier 2)	1.06	1.03	1.24	1.30
4 (Passagier 3)	1.03	0.90	0.86	0.79

Totale concentratie deeltjes tijdens emissie t.o.v. buurtbus referentie
(< 1 = lager niveau in midibus)

Voor chauffeur waren deeltjesconcentraties in midibus hoger dan in buurtbus, voor passagiers deels lager, deels hoger.



B = emissiebron
1-5 = meetpunten

DEURTYPE BUURTBUS

Buurtbus

- enkelbladsdeur
- kuchscherm
- 4x deur open

Buurtbus

- dubbelbladsdeur
- kuchscherm
- 4x deuren open

BUURTBUS ENKELBLADSDEUR VERSUS DUBBELBLADSDEUR

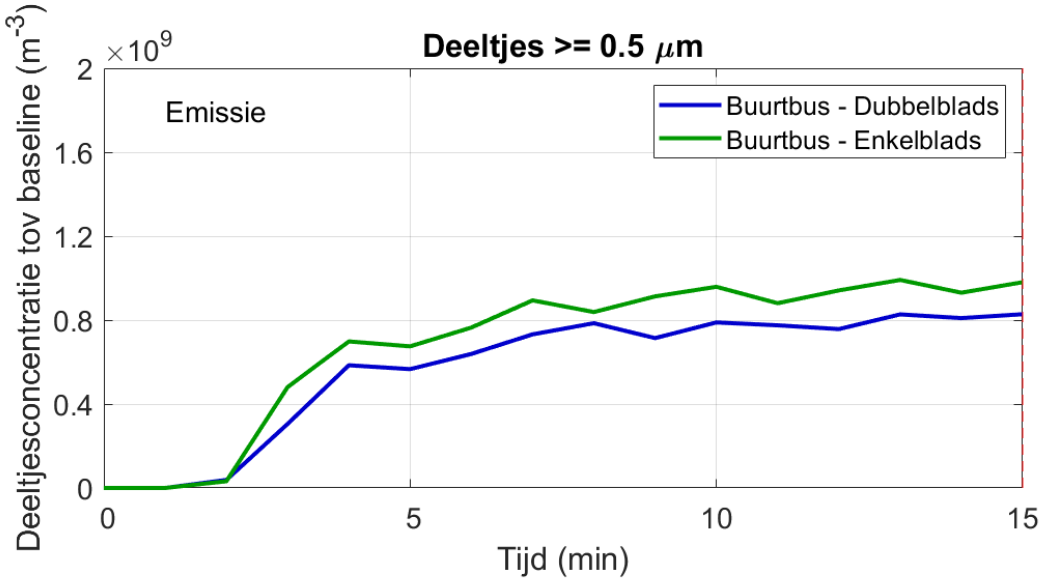
Totale concentratie deeltjes tijdens emissie enkelblad t.o.v. dubbelblad (< 1 = lager niveau met enkelbladsdeur):

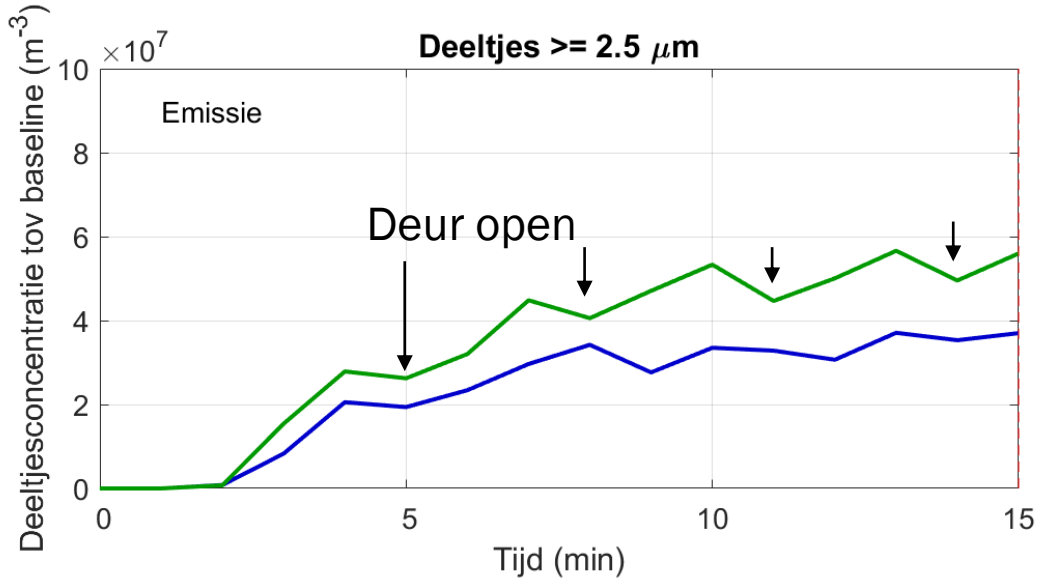
Meetpunt	≥ 0.3 μm	≥ 0.5 μm	≥ 1.0 μm	≥ 2.5 μm
1 (Chauffeur)	1.04	1.20	1.32	1.47
2 (Passagier 1)	0.85	0.96	0.93	0.97
3 (Passagier 2)	0.79	0.84	0.71	0.67
4 (Passagier 3)	0.81	0.87	0.75	0.75

(deur 4x open & dicht)

Voor chauffeur waren deeltjesconcentraties in bus met enkelbladsdeur hoger dan in bus met dubbelbladsdeur; voor passagiers lager.

Bus met enkelbladsdeur was uitgerust met een ander (veel groter) kuchscherm





SAMENVATTING RESULTATEN (1)

1. Deeltjesniveaus in de buurtbus zonder maatregelen waren aanzienlijk hoger dan in de streekbus.
2. Luchtstroomvolumemetingen lieten zien dat extra luchtafvoer meer effectief was dan luchtaanvoer.
3. Extra luchtafvoer en filterunits zorgden voor een reductie in deeltjesniveaus in de buurtbus.
4. Effect van hogere dashboardventilatiestand hing af van aanwezigheid extra ventilatoren: zonder extra ventilatie lagere deeltjesniveaus; met extra ventilatie hogere niveaus bij chauffeur.
5. Passief HEPA-filter in recirculatie-toevoer had geen effect.
6. Alleen met een combinatie van luchtafvoer en actieve filterunits kwamen de deeltjesniveaus in de buurtbus rond of onder de waarden in de streekbus. Hierbij dient rekening gehouden te worden met het verschil in afstand tot de deeltjesbron tussen buurtbus en streekbus.

SAMENVATTING RESULTATEN (2)

7. Deeltjesniveaus in de midibus waren met name voor de chauffeur hoger dan in de buurtbus.
8. Deeltjesniveaus in de buurtbus met enkelbladsdeur waren voor de chauffeur hoger, voor de passagiers lager dan met dubbelbladsdeur (bij herhaaldelijk openen van de deur). Echter, ook verschillend kuchscherm.
9. Kuchschermen en regelmatige desinfectie zijn ook in buurtbussen noodzakelijk.

AANBEVELINGEN (1)

Algemene maatregelen ter reductie van de kans op blootstelling aan het SARS-CoV-2 virus:

1. Het gebruik van een kuchscherm is noodzakelijk om de directe overdracht van grotere druppels bij hoesten, niezen of praten tussen chauffeur en passagiers te voorkomen. Het scherm moet regelmatig gedesinfecteerd worden, om indirecte overdracht van virusdeeltjes te voorkomen.
2. In bussen met enkelbladsdeur bevindt zich de voorste passagiersstoel < 1.5 m van de chauffeur. Deze stoel dient buiten gebruik te blijven.

AANBEVELINGEN (2)

Extra maatregelen ter reductie van aerosolniveaus in buurtbussen:

3. Aanbrengen van tenminste 1 dakventilator voor luchtafvoer met een debiet ≥ 300 m^3/h. Plaatsing in het midden van het passagiersgedeelte.
4. Gebruik van tenminste 1 actieve filterunit. Voor reductie van aerosolniveaus bij de chauffeur dient deze dicht bij de chauffeursstoel geplaatst te worden, met uitstroom van schone lucht richting chauffeur.
5. Dashboardventilatie standaard op stand 1, alleen tijdelijk verhogen indien noodzakelijk voor het ontwasemen van de ruiten (hogere standen kunnen in combinatie met extra ventilatie zorgen voor een stroom naar de chauffeur).
6. In de midibus is meer ventilatie (of filtering) bij de chauffeur nodig dan in de buurtbus.
7. De voorgestelde maatregelen zijn alleen onderzocht op hun effectiviteit t.a.v. reductie in aerosolniveaus. Ook effecten op comfort (akoestisch, thermisch) en robuustheid voor gebruik in voertuigen dienen meegewogen te worden.

BEDANKT VOOR
UW AANDACHT

TNO innovation for life

Foto: Bart van Leersum