



# Forbedret arbejdsmiljø i Renovationsbranchen med luftrensning



TEKNOLOGISK  
INSTITUT



**TEKNOLOGISK  
INSTITUT**

# Forbedret arbejdsmiljø i Renovations- branchen med luftrensning

Teknisk Rapport 2011741

**Udarbejdet af**

Teknologisk Institut  
Kongsvang Allé 29  
8000 Aarhus C  
Luft og Sensortechnologi

December 2024

Forfatter: Peter Dyrberg Georgi

Kvalitetssikring: Stig Koust



## 1. Baggrund

Teknologisk Institut har i samarbejde med GC Healthcare ApS og Remondis A/S udført projektet *Forbedret arbejdsmiljø i renovationsbranchen*, støttet af CLEAN (projektnummer 2024.Luft.11).

Projektet har til formål at undersøge, hvordan installationen af AG25 luftrensere fra GC Healthcare kan forbedre luftkvaliteten i førerhusene på skraldebiler. Dette skal ses i lyset af, at skraldemænd udsættes for høje koncentrationer af sundhedsskadelige mikroorganismer når containere tømmes, hvilket har en direkte indvirkning på deres helbred (forskning fra NFA, 2020<sup>1</sup>). Ved at implementere og evaluere effektiviteten af dette luftrensningssystem, sigter projektet mod at skabe et sikrere og sundere arbejdsmiljø for skraldemænd, som er blandt de mest udsatte arbejdsgrupper i forhold til luftbårne patogener.

Denne rapport beskriver metoden, herunder den tekniske databehandling og projektets tekniske konklusioner.

## 2. Konklusion

På baggrund af målinger af luftkvaliteten i 2 skraldebiler over en periode på 12 uger vurderes det at de installerede luftrensere (AG25) kan forbedre arbejdsmiljøet for skraldemændene ved at reducere partikelkoncentrationen i førerhusene. Denne effekt er målt for både små (mindre end 1 µm) og store partikler (større end 1 µm). Effekten virker dog til at være størst for de små partikler. Projektet har ikke direkte kunnet måle og identificere mikroorganismer, men partikelstørrelsen målt er sammenlignelig med størrelsen på relevante mikroorganismer, hvormed det indikerer at luftrenseren også vil kunne fjerne de mikroorganismer som findes i luften i førerhusene.

Den gennemsnitlige koncentration for hele perioden er for PM10 faldet med 2,8 – 18,4 µg/m<sup>3</sup> og for PM2.5 med 1,3 – 4,1 µg/m<sup>3</sup> i de perioder, hvor luftrenserne har været tændt.

Grundet projektets relativt lille størrelse kan konklusionerne på luftrensernes effekt kun betegnes som indikativ, idet der blot har været to skraldebiler med i projektet over en periode på 13-uger.

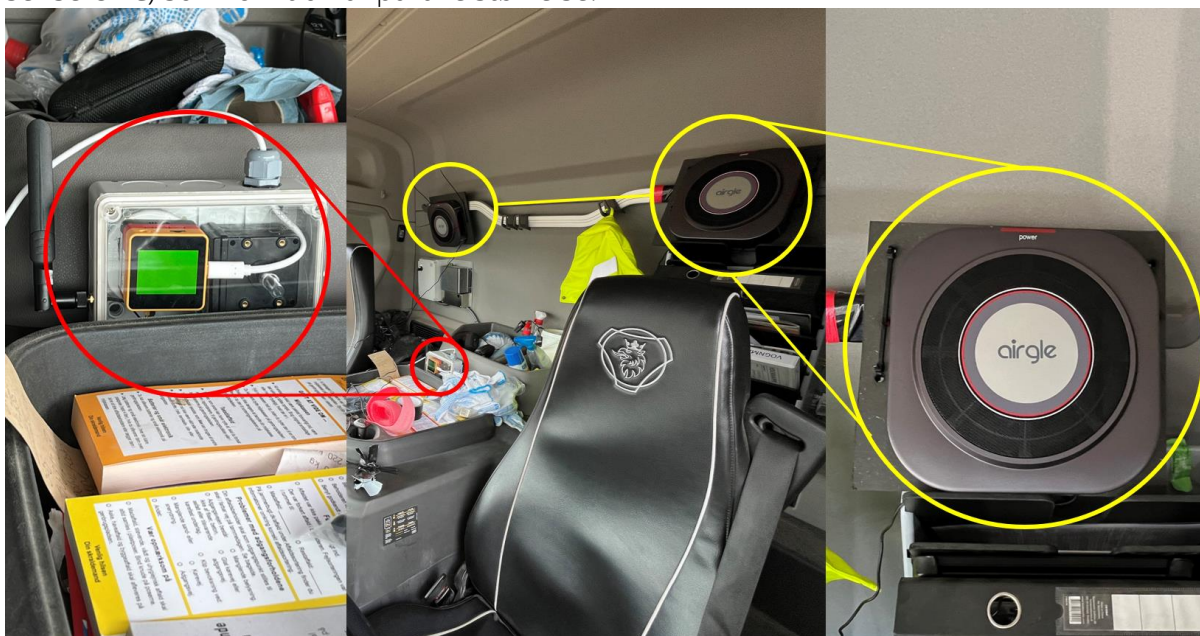
---

<sup>1</sup> <https://nfa.dk/nyt/nyheder/2020/mikroorganismer-udfordrer-skraldemaends-arbejdsmiljoe>



### 3. Metode

Der blev foretaget målinger af luftkvaliteten i to skraldevogne i perioden mandag d. 8. juli til fredag d. 27. september 2024. I hver skraldevogns førerhus blev der installeret to luftrensesystemer (AG25 Air Purifier, Airgle) bagved sæderne (figur 1 højre) samt en partikelsensor i midten af førerhuset (figur 1 venstre) til kontinuerlig måling af partikelmassekoncentrationen (Alpha-sense OPC) som funktion af partikelstørrelse.



Figur 1: Skraldevogns førerhus med en partikelsensor (venstre) og luftrensere (højre) installeret.

For at vurdere den generelle luftkvalitet i førerhuset samt luftrenserens effekt blev der foretaget målinger hvor luftrenseren var hhv. tændt og slukket i to uger ad gangen. Luftrenserens status for en given uge ses i tabel 1.

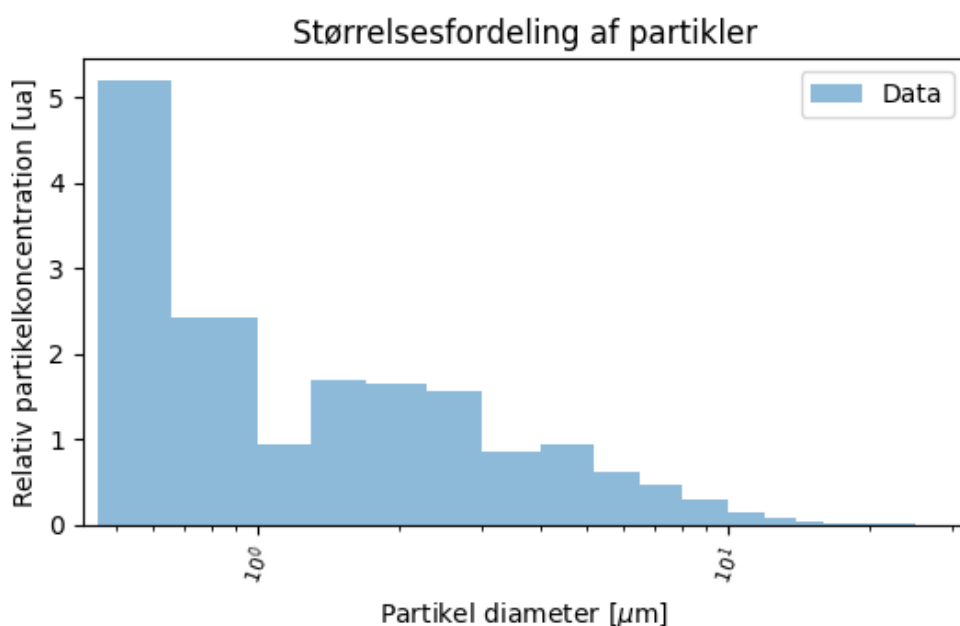
Tabel 1: Program for luftrensere.

| Uge nr                   | 28  | 29 | 30  | 31  | 32 | 33 | 34  | 35  | 36 | 37 | 38  | 39  |
|--------------------------|-----|----|-----|-----|----|----|-----|-----|----|----|-----|-----|
| Luftrenser status vogn 1 | ON  | ON | OFF | OFF | ON | ON | OFF | OFF | ON | ON | OFF | OFF |
| Luftrenser status vogn 2 | N/A | ON | OFF | OFF | ON | ON | OFF | OFF | ON | ON | OFF | OFF |

Vognførerne blev instrueret i at have partikelsensoren tændt hele deres arbejdsdag. På en given dag har partikelsensorerne målt fra det øjeblik de blev tilsluttet strøm i vognene til omtrent en time efter de blev frakoblet strøm efter endt kørsel.

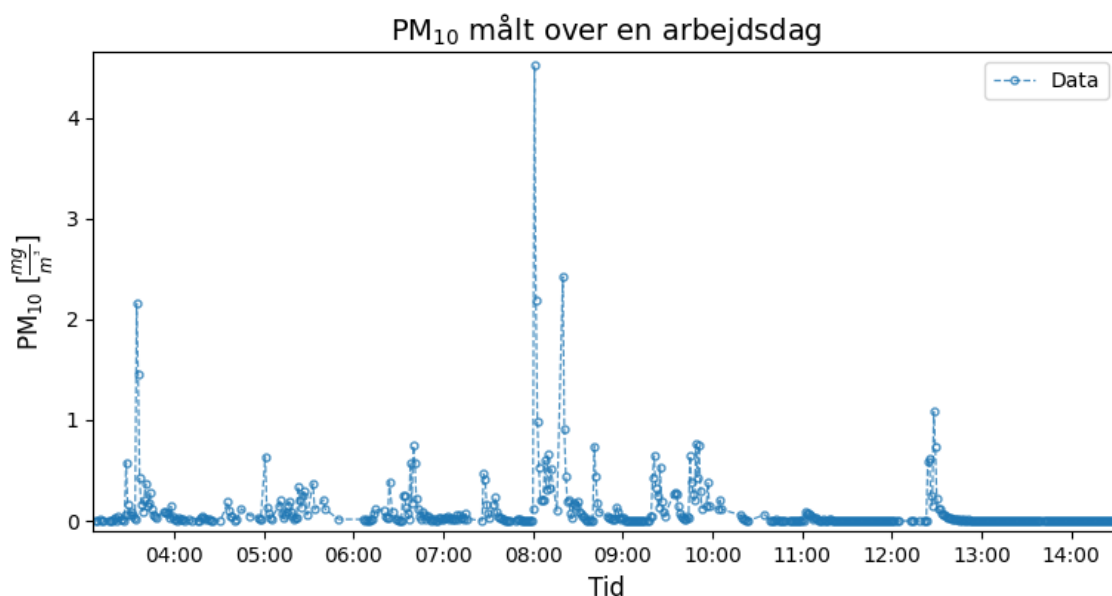


Partikelsensorerne måler størrelsesfordelingen af koncentrationen af partikler med diameter fra 0.3  $\mu\text{m}$  til 20  $\mu\text{m}$  hvert minut. Et eksempel er givet på Figur 2. Bemærk at spændet af diameter-intervallerne varierer.



Figur 2: Eksempel på måling af størrelsesfordelingen af partikler. Eksemplet er et gennemsnit af en hel dags målinger.

Målingerne blev benyttet til at beregne partikelmassekoncentrationen af partikler under 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) samt under 2.5  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ). Figur 3 viser målinger af  $\text{PM}_{10}$  i et førerhus taget over en hel arbejdsdag.



Figur 3: Eksempel på en dags målinger af  $PM_{10}$  i en af skraldevognenes førerhuse.

For at vurdere effekten af luftrensere på luftkvaliteten i førerhuset blev målingerne fra partikelsensorerne kategoriseret efter om luftrenseren var tændt eller ej. Ydermere blev målingerne kategoriseret efter hvilken ugedag de var foretaget, for at identificere eventuelle effekter af variationer i vognførernes ugentlige arbejdsgang. Effekten af luftrensere blev kvantificeret i forhold til partikelstørrelsesfordelingen samt koncentrationen af  $PM_{10}$  og  $PM_{2.5}$ .

#### *Størrelsesfordeling af partikler*

For hver ugedag og både for målingerne hvor luftrensere var tændt og slukket, blev den gennemsnitlige partikelkoncentration som funktion af partikeldiameter beregnet. Effekten af luftrenseren blev vurderet ved at trække partikelkoncentrationerne med luftrenseren slukket fra partikelkoncentrationerne med luftrenseren tændt for hvert partikeldiameterinterval. Et 95 % konfidensinterval for de beregnede forskelle i partikelkoncentration blev estimeret med en bootstrap test. Testen bestod i at tage ét tilfældigt målepunkt med renseren tændt og renseren slukket, beregne forskellen mellem de to punkter, gentage processen 10.000 gange med tilbagelægning og beregne 5 % og 95 % percentilerne for de beregnede forskelle.

#### *Niveauer af $PM_{10}$ og $PM_{2.5}$*

Den gennemsnitlige værdi, medianværdien og percentilerne af  $PM_{10}$  og  $PM_{2.5}$  med luftrensere tændt og slukket blev beregnet for hele måleperioden og for alle individuelle måledage for begge vogne. Værdierne blev sammenlignet med de anbefalede 24-timers grænseværdier sat af EU på  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  for  $PM_{10}$  og  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  for  $PM_{2.5}$ . Forskellen med luftrensere tændt og slukket for værdien af  $PM_{10}$  og  $PM_{2.5}$  blev beregnet ved at trække gennemsnittet af målingerne med

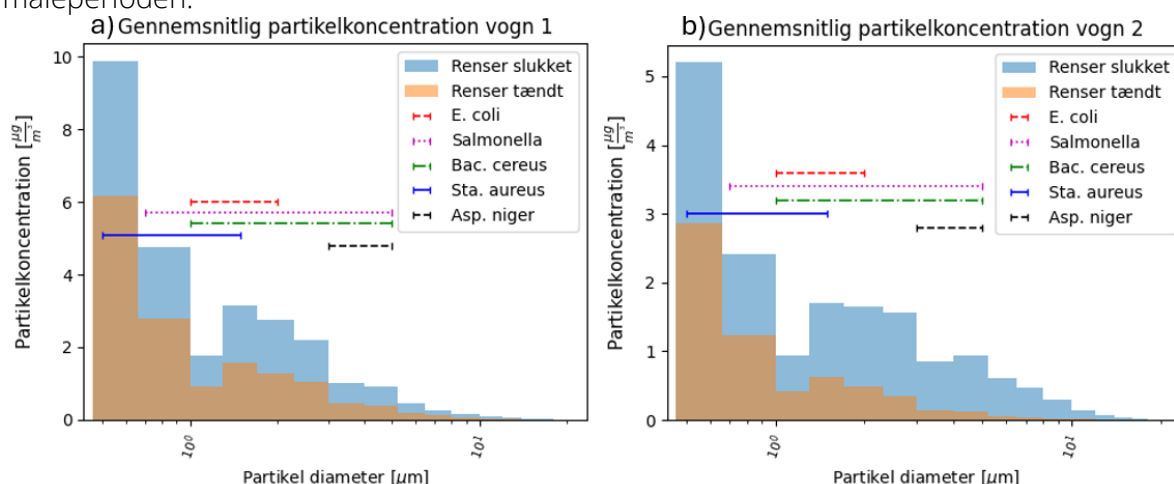


luftrensere slukket fra gennemsnittet af målingerne hvor luftrenseren var tændt. Det blev gjort for hele måleperioden og for individuelle ugedage. Et 95 % konfidensinterval for de beregnede forskelle blev estimeret med en bootstrap test som beskrevet i forrige sektion.

## 4. Resultater

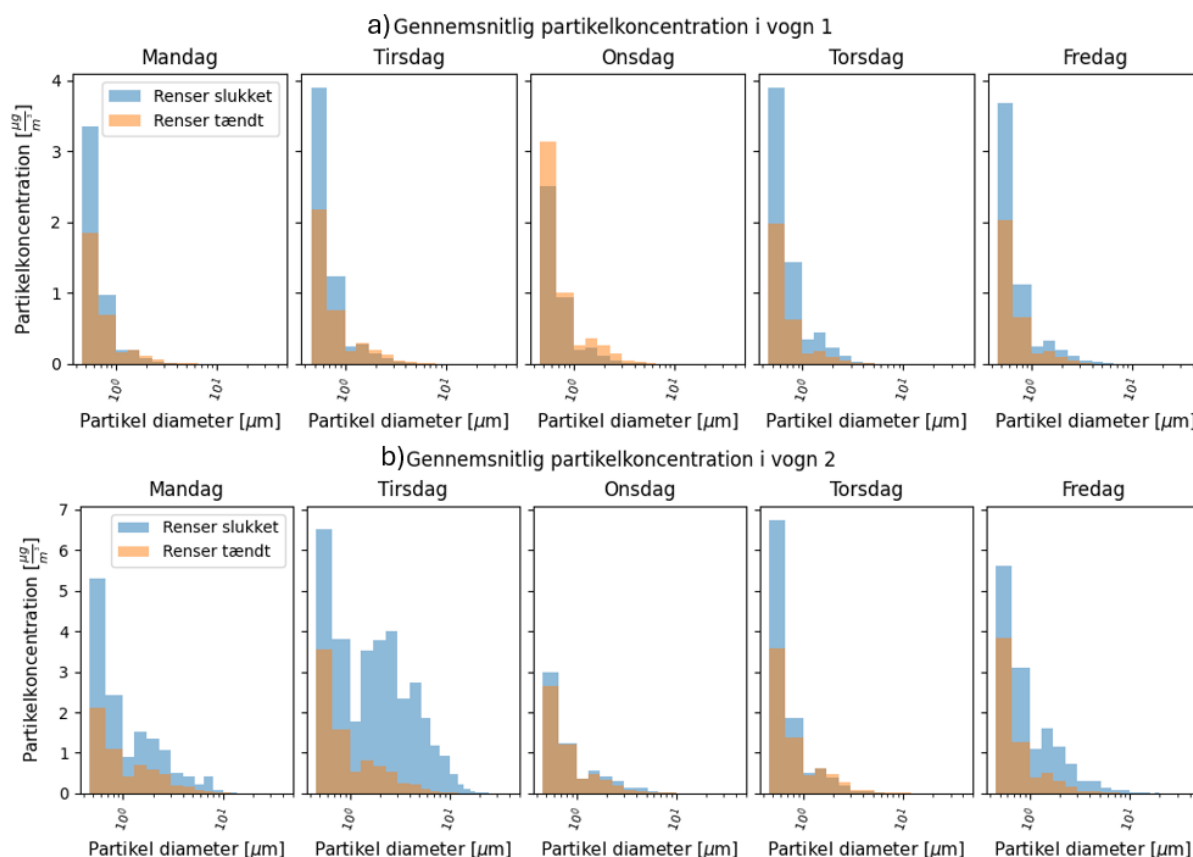
### *Størrelsesfordeling af partikler*

Figur 4 viser den gennemsnitlige målte partikelkoncentration som funktion af partikeldiameter i vogn 1 (figur 4a) og vogn 2 (figur 4b) med luftrenseren tændt (orange) og slukket (blå) for hele måleperioden.



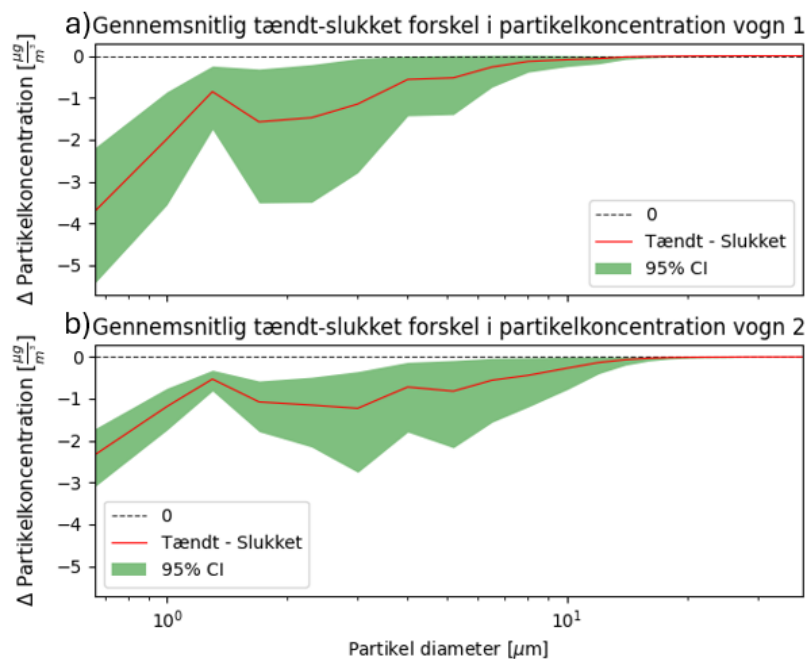
Figur 4: Gennemsnitlig partikelkoncentration som funktion af partikeldiameter over hele måleperioden mens luftrenseren var tændt (orange) og slukket (blå) for a) vogn 1 og b) vogn 2. De farvede linjer indikerer størrelsen af mikroorganismer typisk fundet i affald.

Målingerne indikerer et fald i partikelkoncentration i de fleste størrelsesintervaller når luftrenseren er tændt. Figur 5 viser partikelkoncentrationen som funktion af partikelstørrelse fordelt på ugedage. Målingerne indikerer et generelt fald i partikelkoncentrationen når luftrenseren er tændt, undtagen om onsdagen i vogn 1.

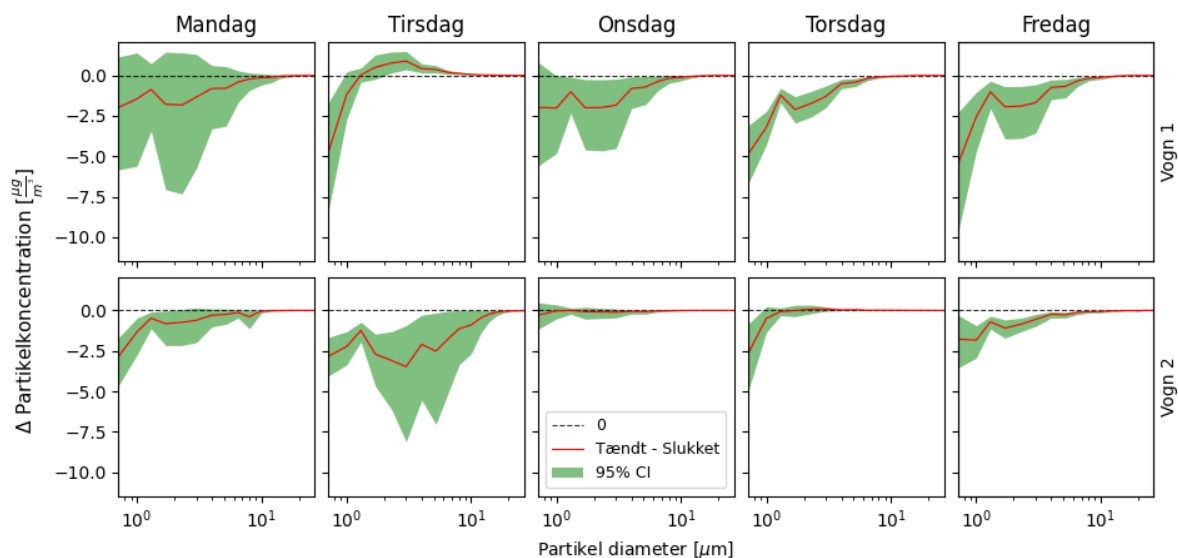


Figur 5: Gennemsnitlig partikelkoncentration som funktion af partikeldiameter fordelt på ugedage mens luftrenseren var tændt (orange) og slukket (blå) for a) vogn 1 og b) vogn 2.

De største fald i partikelkoncentration når luftrenseren tændes blev observeret i vogn 2 for tirsdage. Figur 6 viser den gennemsnitlige forskel i partikelkoncentration som funktion af partikelstørrelse når luftrenseren er hhv. tændt og slukket for vogn 1 (figur 6a) og vogn 2 (figur 6b). Konfidensintervallet indikerer at der får små partikler (under ca. 5  $\mu\text{m}$  i diameter) er et signifikant fald i partikelkoncentration. Denne trend ses også når man skelner mellem ugedage (figur 7), undtagen for vogn 1 mandag og onsdag, hvor der ikke ses en signifikant forskel, vogn 1 tirsdag, hvor der for de mindste partikler ses et fald, men en forøgelse for større partikler og vogn 2 onsdag, hvor forskellen på tændt og slukket luftrenser er mindre end konfidensintervallet for alle partikelstørrelser.



Figur 6: Forskellen i gennemsnitlig partikelkoncentration som funktion af partikelstørrelse med luftrenseren tændt og slukket (rød linje) med 95 % konfidensinterval (grøn skravering) for a) vogn 1 og b) vogn 2.

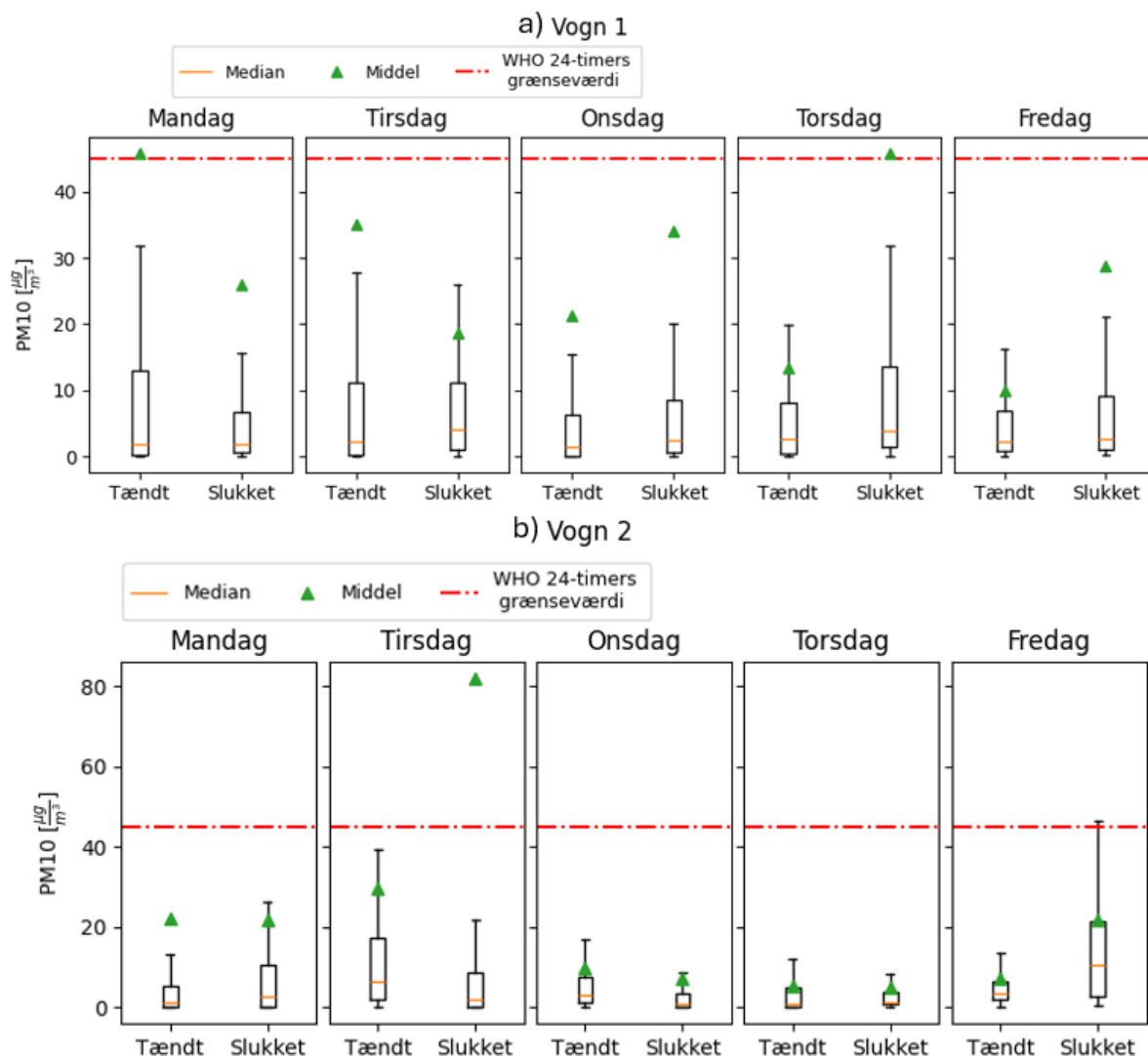


Figur 7: Forskellen i gennemsnitlig partikelkoncentration som funktion af partikelstørrelse med luftrenseren tændt og slukket (rød linje) med 95 % konfidensinterval (grøn skravering) for alle ugedage for øverst) vogn 1 og nederst) vogn 2

Niveauer af  $PM_{10}$  og  $PM_{2.5}$



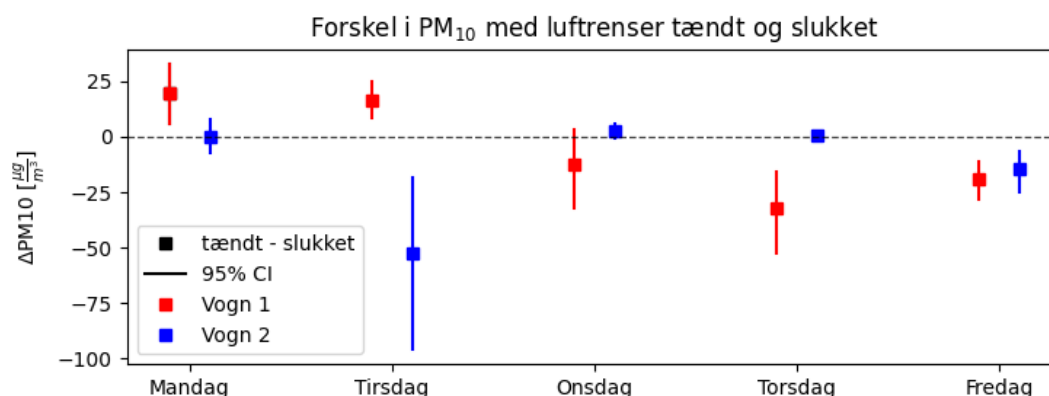
Fordelingen af  $PM_{10}$  for hver ugedag og vogn ses som boksplot i figur 8. Den største gennemsnitsværdi var observeret tirsdag for vogn 2 med luftrenserne slukket og var  $81.8 \mu g/m^3$ , næsten dobbelt så høj som WHO's anbefalede grænseværdi på  $45 \mu g/m^3$ . I vogn 1 blev WHO's grænseværdi netop overgået mandag med luftrenseren tændt og torsdag med luftrenseren slukket. Den gennemsnitlige værdi af  $PM_{10}$  er højere med luftrenseren slukket i fem ud af ti tilfælde ved sammenligning af samme dag i samme vogn. Median-værdien er højere med luftrenseren slukket i otte ud af ti tilfælde ved sammenligning af samme dag og vogn.



Figur 8: Boksplot af de målte  $PM_{10}$  værdier for hver ugedag med luftrenserne tændt og slukket for a) vogn 1 og b) vogn 2.

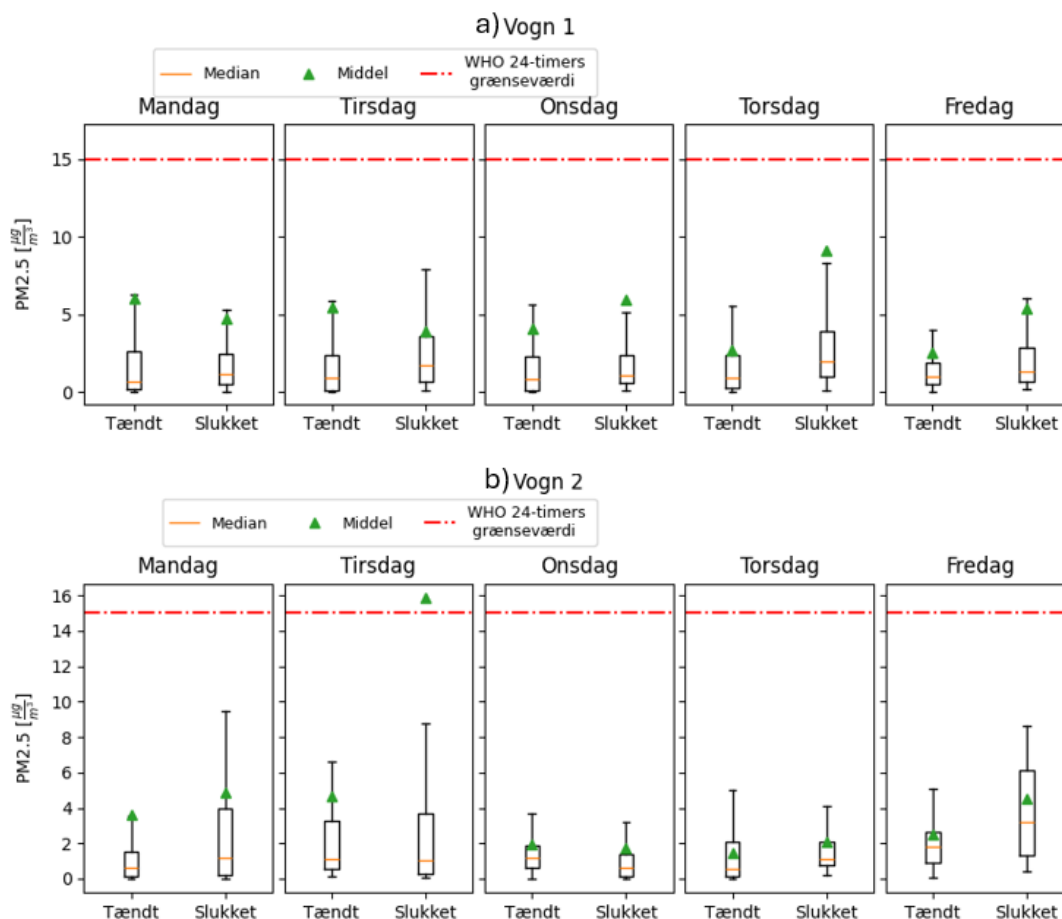


Bootstrap testen indikerede at den gennemsnitlige  $PM_{10}$  var mindsket signifikant i fem ud af ti af tilfælde ved sammenligning af samme dag i samme vogn når luftrenseren var tændt. Den største effekt blev observeret i vogn 2 på tirsdage ( $52.4[17.8;96.9] \mu\text{g}/\text{m}^3$  reduktion) og i vogn 1 på torsdage ( $32.3[15.8;53.5] \mu\text{g}/\text{m}^3$  reduktion).



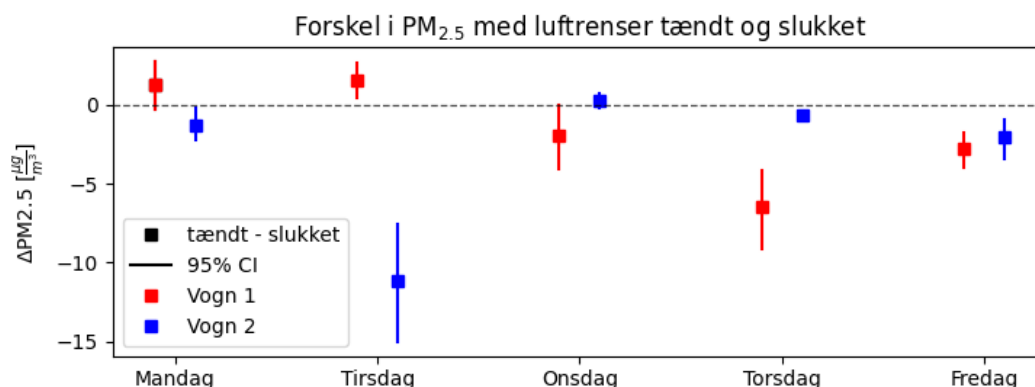
Figur 9: Forskellen i gennemsnitlig målt  $PM_{10}$  med luftrenserne tændt og slukket fordelt på ugedage for vogn 1 (rød) og vogn 2 (blå).

Fordelingen af  $PM_{2.5}$  for hver ugedag og vogn ses som boksplot i figur 10. Som for  $PM_{10}$  målingerne blev den største gennemsnitsværdi observeret tirsdag for vogn 2 med luftrenserne slukket og var  $15.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , netop over WHO's anbefalede grænseværdi på  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Den gennemsnitlige værdi af  $PM_{2.5}$  er højere med luftrenseren slukket i syv ud af ti af tilfælde ved sammenligning af samme dag i samme vogn. Median-værdien er højere med luftrenseren slukket i syv ud af ti tilfælde ved sammenligning af samme dag og vogn.



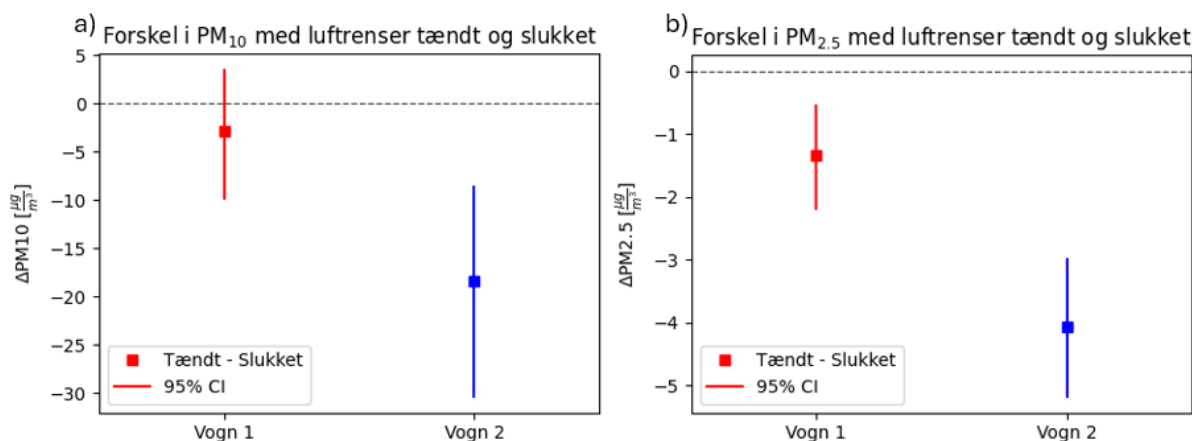
Figur 10: Boksplot af de målte PM<sub>2.5</sub> værdier for hver ugedag med luftrensere tændt og slukket for a) vogn 1 og b) vogn 2.

Bootstrap testen indikerede at den gennemsnitlige PM<sub>2.5</sub> var mindsket signifikant i syv ud af ti af tilfælde ved sammenligning af samme dag i samme vogn når luftrenseren var tændt. Den største effekt blev observeret i vogn 2 på tirsdage (11.2[7.5;15.1]  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  reduktion) og i vogn 1 på torsdag (6.5[4.2;9.2]  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  reduktion).



Figur 11: Forskellen i gennemsnitlig målt  $PM_{2.5}$  med luftreenserne tændt og slukket fordelt på ugedage for vogn 1 (rød) og vogn 2 (blå).

Den totale gennemsnitlige forskel på  $PM_{10}$  og  $PM_{2.5}$  værdierne i de to vogne med luftreenserne tændt og slukket over hele måleperioden ses i figur 12. Gennemsnitligt ses et fald i begge vogne for  $PM_{10}$  på  $2.8[-3.7;9.6] \mu g/m^3$  i vogn 1 og  $18.4[8.4;30.8] \mu g/m^3$  i vogn 2 med luftreenserne tændt.  $PM_{2.5}$  faldt  $1.3[0.5;2.2] \mu g/m^3$  i vogn 1 og  $4.1[3.1;5.2] \mu g/m^3$  i vogn 2 med luftreenserne tændt.



Figur 12: Forskellen i gennemsnitlig a) målt  $PM_{10}$  og b) målt  $PM_{2.5}$  med luftreenserne slukket og tændt i vogn 1 (rød) og vogn 2 (blå).



**TEKNOLOGISK**  
**INSTITUT**