

# PARTIKLER I INDEKLIMAET - ET SUNDHEDSPERSPEKTIV



# AGENDA

---

## 1. Om partikler

Forskellige partikelstørrelser  
Partikler i kroppen  
Sundhedseffekter

## 2. Indeklima i vores bolig

Kilder til partikler  
Min forskning med fokus på forsøg med stearinlys, stegeos og e-cigaretter  
Konklusioner på min forskning – og hvad gør vi så herfra?

## 3. Indeklima i folkeskolen

Indeklimaet i de danske folkeskoler  
Sundhedskonsekvenser  
Hvad kan vi gøre?



# OM PARTIKLER

Particulate matter (PM) er et mix af luftbårne ekstremt små faste partikler og væskedråber.

Beskrivelse og indsamling af partikler er baseret på partikelstørrelse (målt som den aerodynamiske diameter i mikrometer).

**Grove** partikler: 2.5-10  $\mu\text{m}$

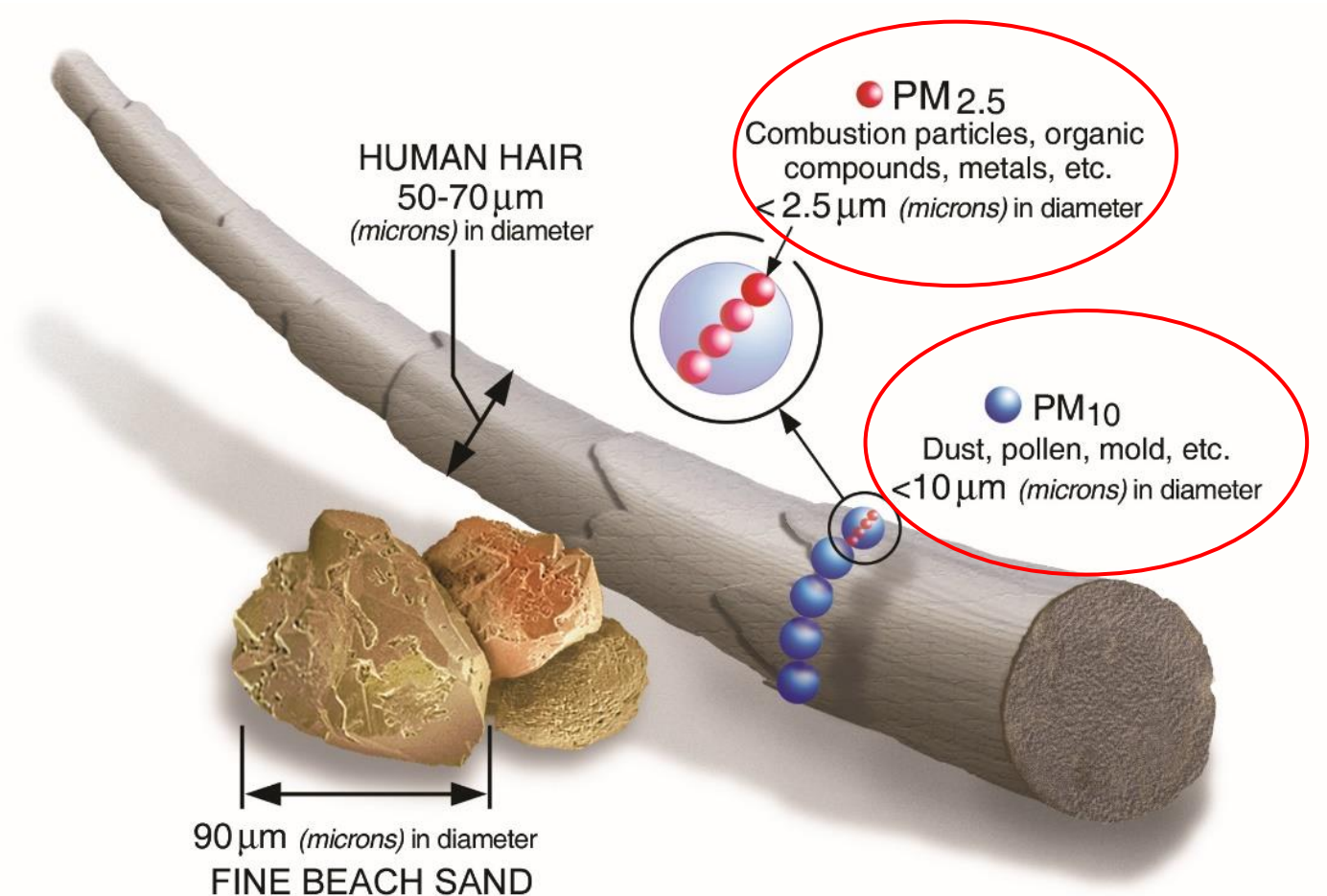
**Fine** partikler:  $\leq 2.5 \mu\text{m}$

**Ultrafine** partikler:  $\leq 0.1 \mu\text{m}$

**PM<sub>10</sub>** < 10  $\mu\text{m}$

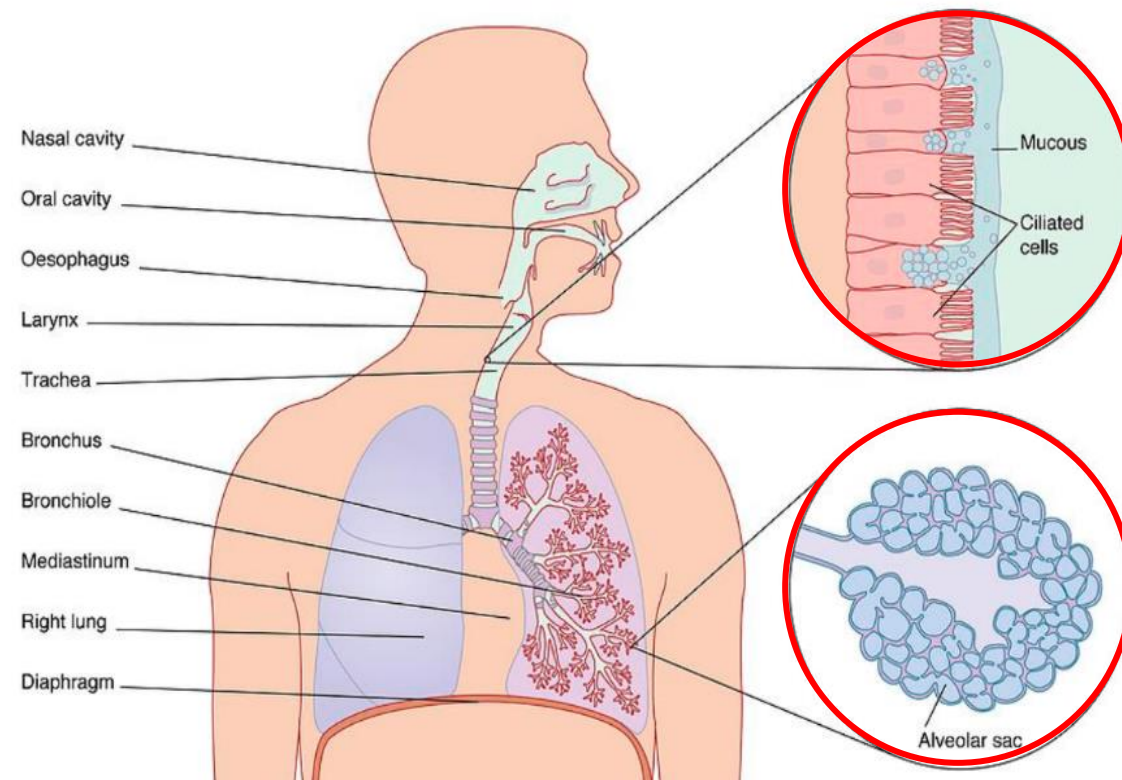
**PM<sub>2.5</sub>**  $\leq 2.5 \mu\text{m}$

**PM<sub>0.1</sub>**  $\leq 0.1 \mu\text{m}$



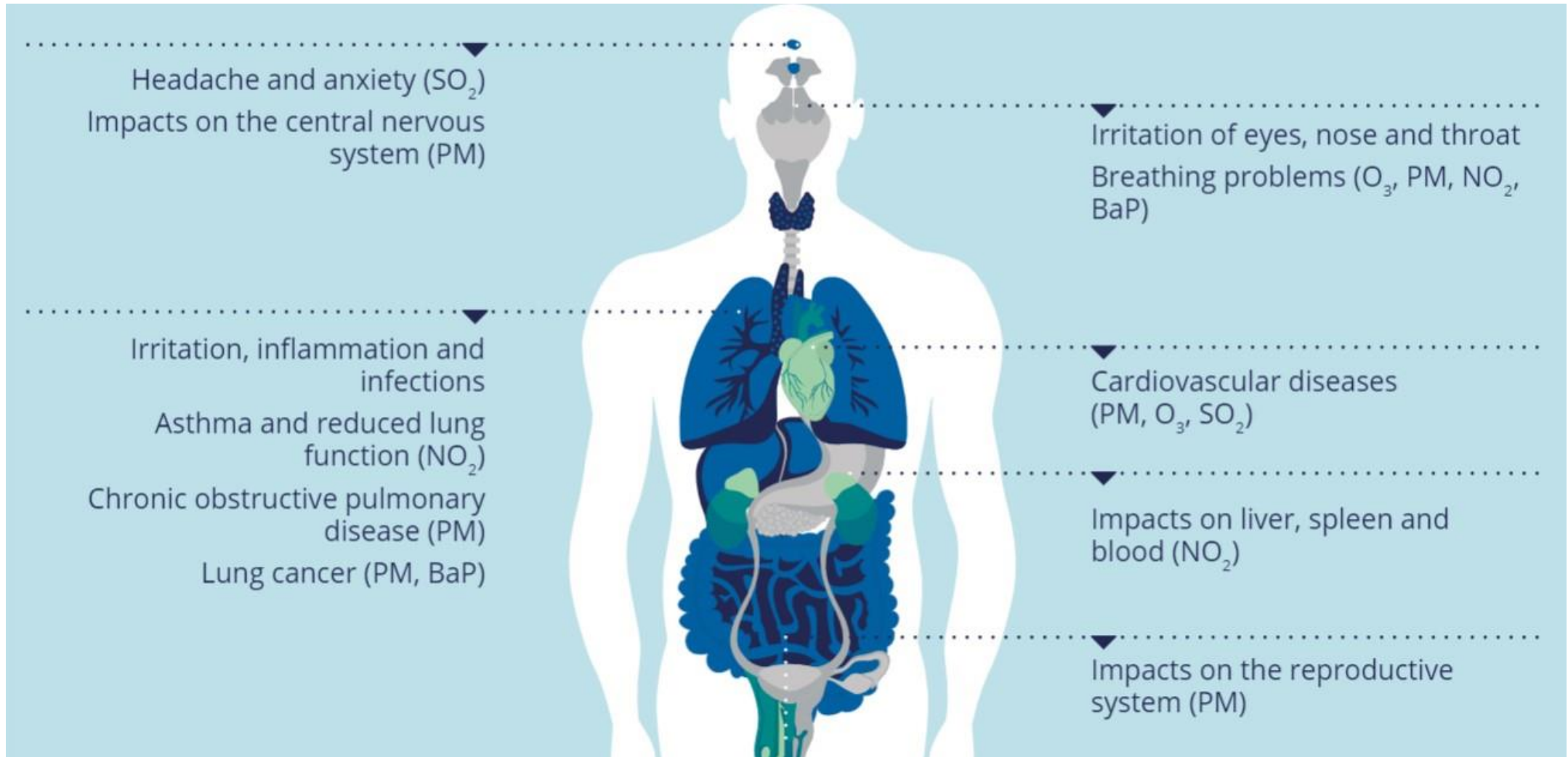
# PARTIKLER I KROPPEN

---



\*Alveolerne  
= de mindste lungesække

# DOKUMENTEREREDE SUNDHEDSEFFEKTER



# EKSEMPEL

## Indånding af partikler og udvikling af hjertekarsygdom via akutfase-respons

En mulig virkningsmekanisme

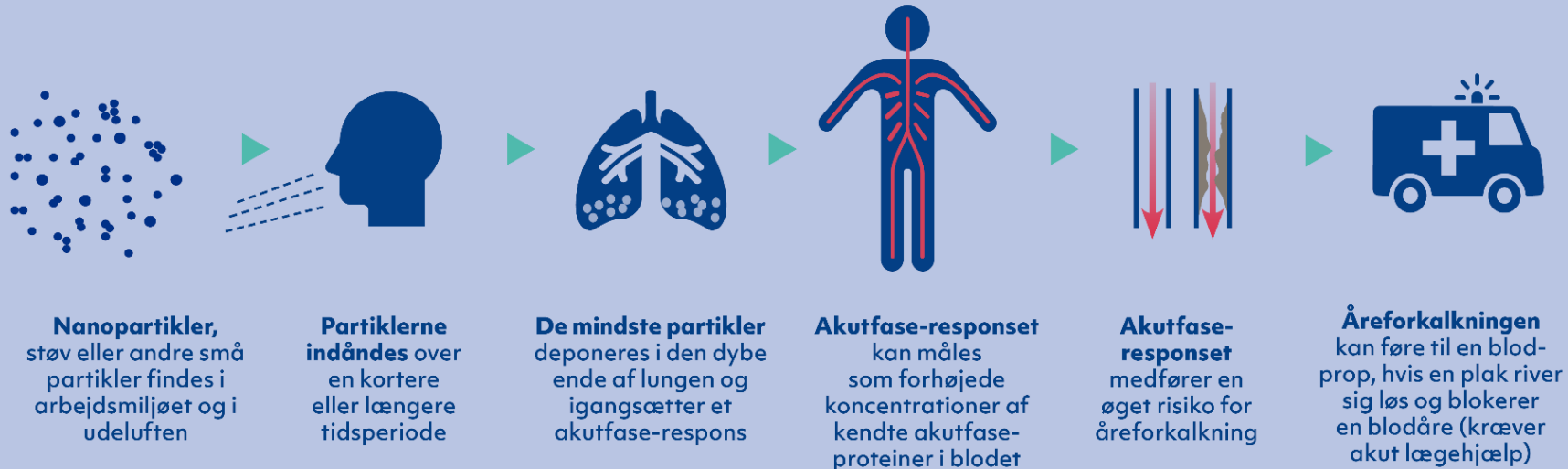


Illustration: Trine Larsen

Ny forskningsviden

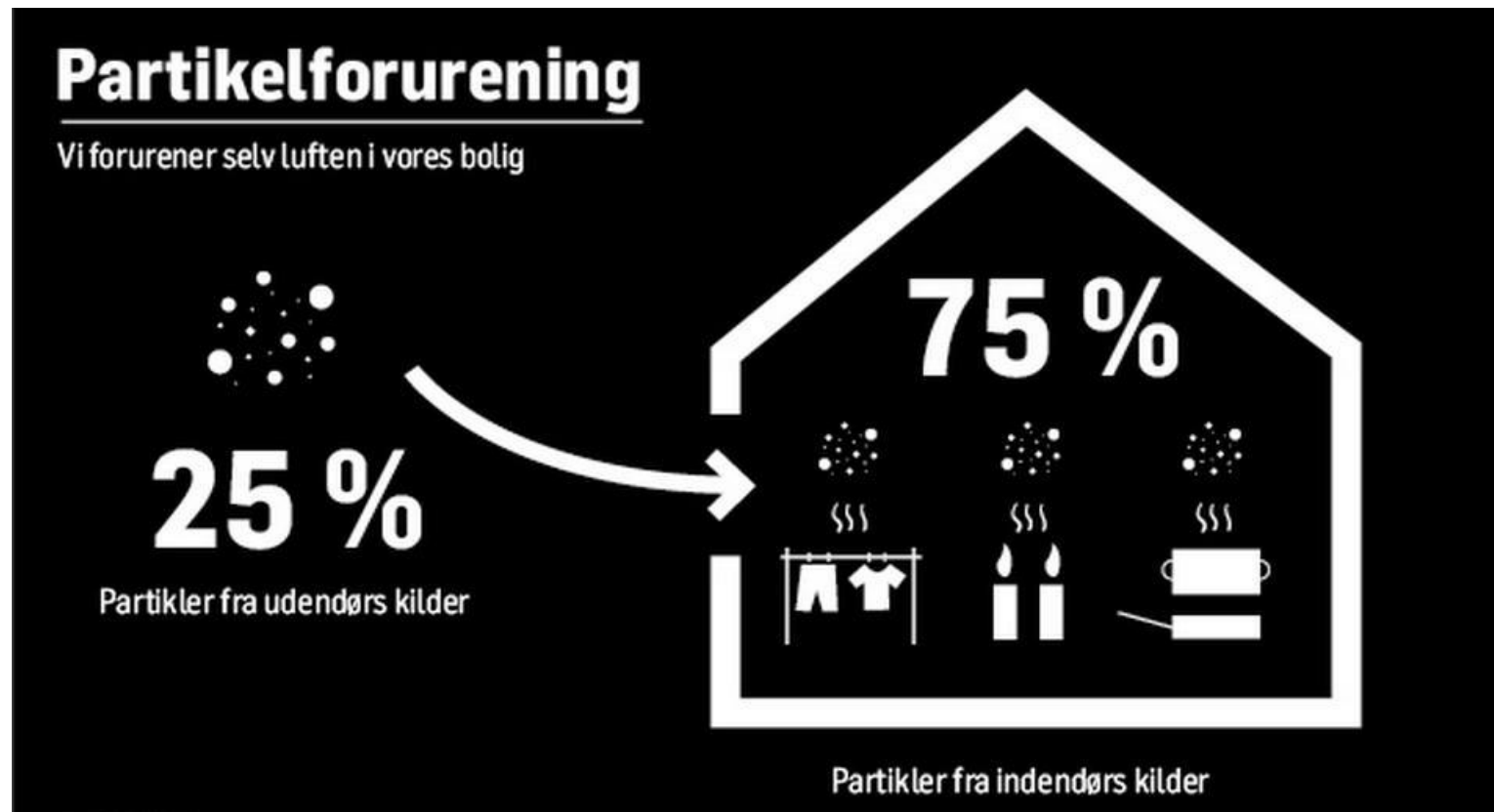
Etableret forskningsviden

Kilde: Professor Ulla Vogel, NFA



# INDEKLIMA I VORES BOLIG

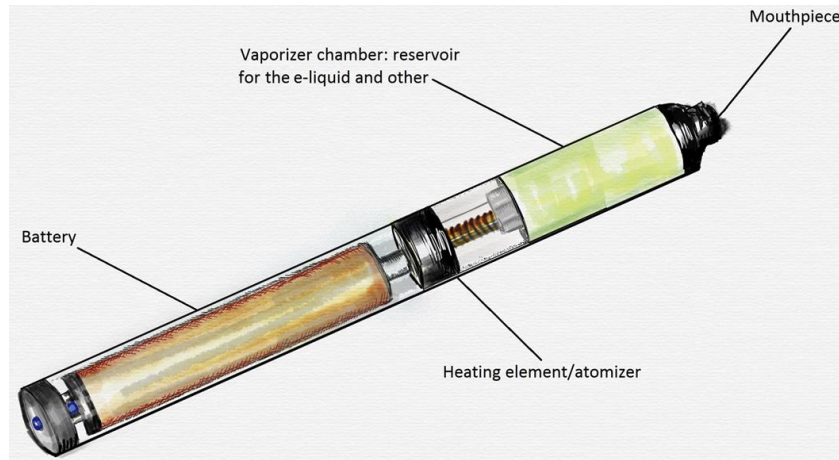
Vi opholder os op mod 90% af vores tid inden døre → vores indeklima har stor betydning for vores helbred og velvære.





# KILDER TIL PARTIKLER I INDEKLIMAET

---





# I MIN PHD

---

...har jeg fokuseret på de sundhedsskadelige effekter, der kan opstå hos os mennesker efter eksponering for indendørs partikelforurening.

**Formålet** var at undersøge de akutte helbredseffekter af korttidseksponering for henholdsvis stegeos, tændte stearinlys og **passiv damp** fra e-cigaretter. Dette er undersøgt blandt personer med **lungesygdom**.

Det er undersøgt i to forskellige eksponeringsstudier.



# EKSPONERINGSFORSØG FORKLARET

---

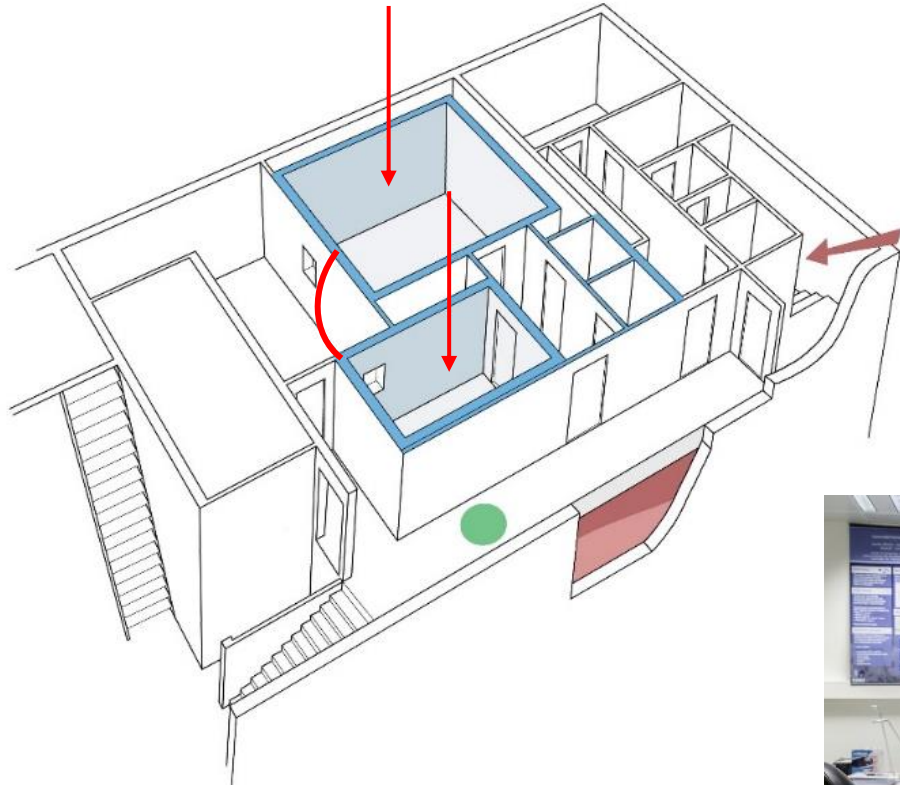
Kontrollerede eksponeringsforsøg med mennesker er eksperimenter hvor frivillige deltagere eksponeres for en eller flere forureningskomponenter i et kontrolleret korttids-scenarie.

**Formålet** er at øge vores viden om de biologiske forandringer/mekanismer, der sker i kroppen forårsaget af den specifikke eksponering.

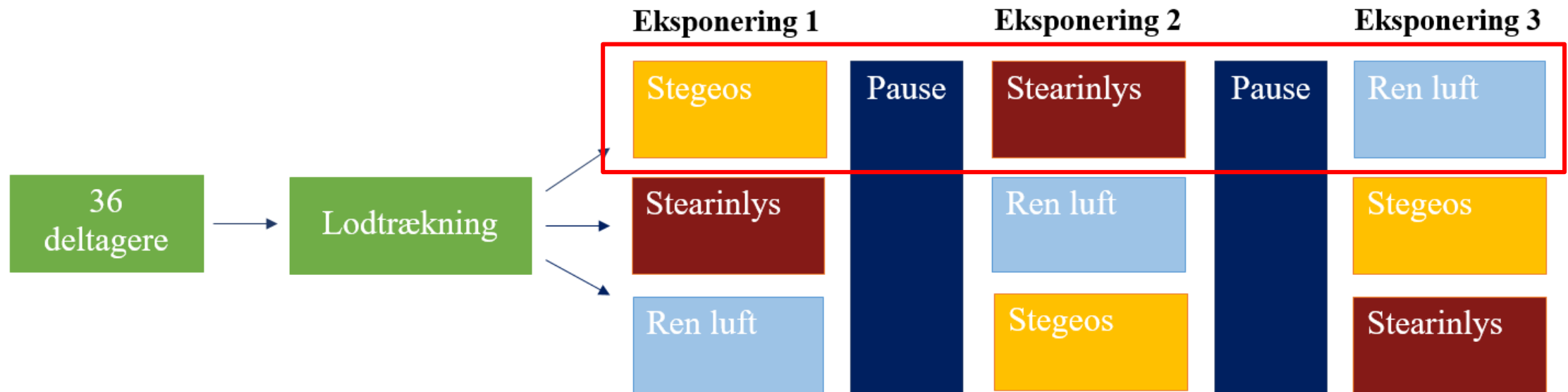
I eksponeringsforsøg undersøger vi tidlige og forbigående effekter uden at forårsage sygdom, samtidig med at vi sikrer deltagernes sikkerhed samt følger nationale og internationale etiske kodeks.



# KLIMAKAMRENE, AU



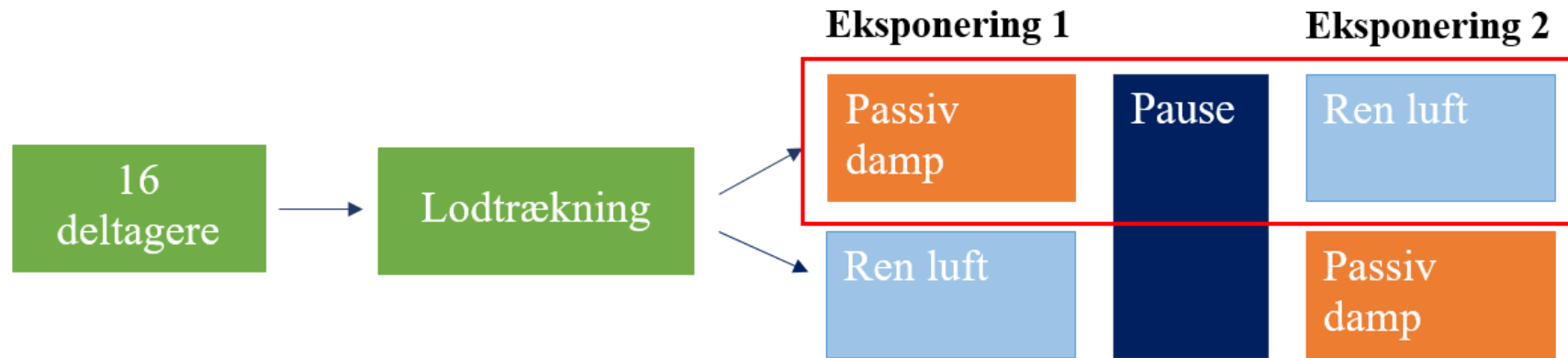
# STUDIEDESIGN: RCT



Overkrydsningsdesign.  
Eksponering: 5 timer.  
Pause: 14 dage.



# STUDIEDESIGN: RCT



Overkrydsningsdesign.  
Eksposering: 4 timer.  
Pause: 14 dage.





---

36 unge ikke-rygende individer med mild astma (alder: 18-25 år)

Ingen brug af medicin på dage med eksponering eller 48 timer forud for eksponering.

Ingen brug af langtidsvirkende medicin.

Deltagerne blev eksponeret for følgende PM<sub>2.5</sub>-niveauer:

Stegeos: 96,1 µg/m<sup>3</sup>

Tændte stearinlys: 89,8 µg/m<sup>3</sup>

Ren luft: 5,8 µg/m<sup>3</sup>

Fire deltagere blev eksponeret ad gangen.







---

16 ikke-rygende ældre med KOL (alder: 56-77 år)

Ingen brug af medicin på dage med eksponering eller 48 timer forud for eksponering.

Ingen brug af langtidsvirkende medicin.

Deltagerne blev eksponeret for følgende  $PM_{2.5}$ -niveauer:

E-cigaretter: median  $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (range:  $8\text{-}333 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Ren luft:  $<6 \mu\text{g}/\text{m}^3$

To-tre deltagere blev eksponeret ad gangen.

# PARTIKLER – HVAD MÅLTE VI?

---

Størrelsesfordelinger (SMPS).

Masse (PM-filtre og DustTrak).

Hygroskopicitet (Humidifier på SMPS).

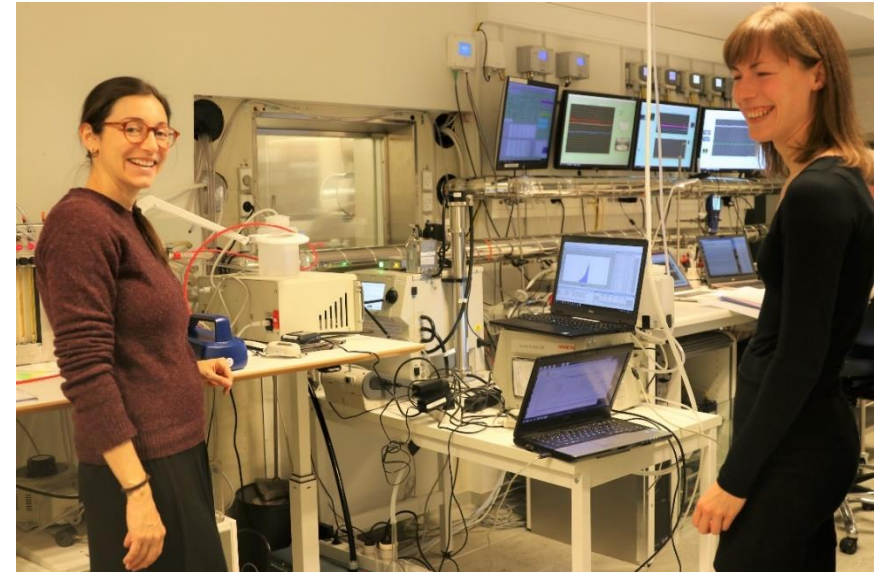
## Øvrige

CO<sub>2</sub>, temperatur og luftfugtighed

VOC'er (stegt flæsk)

NO<sub>2</sub> (stearinlys)

Nikotinfiltre (e-cigaretter)

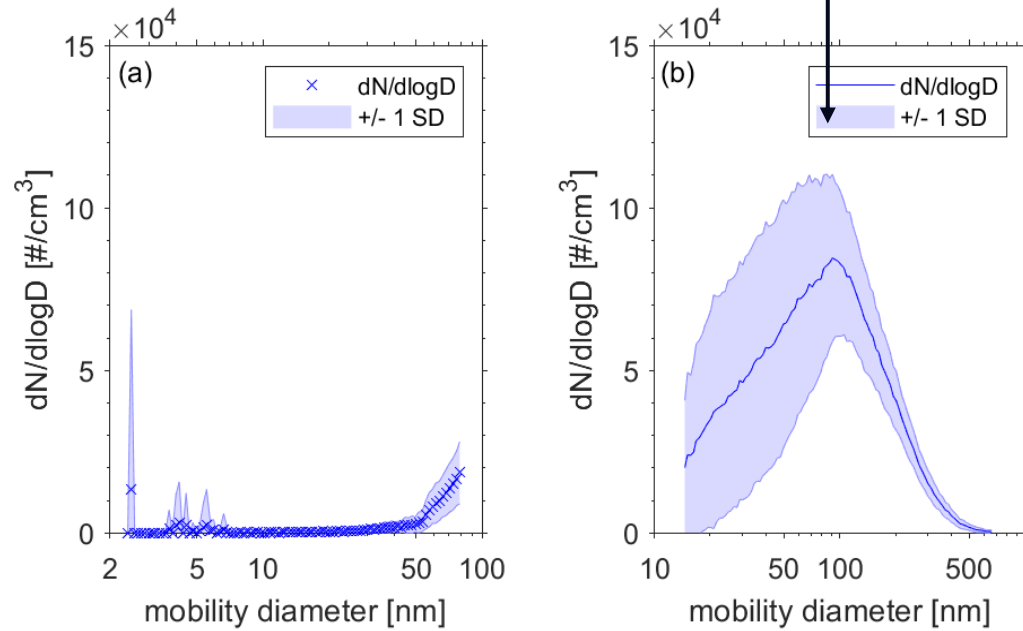


# PARTIKLER – HVAD FANDT VI?



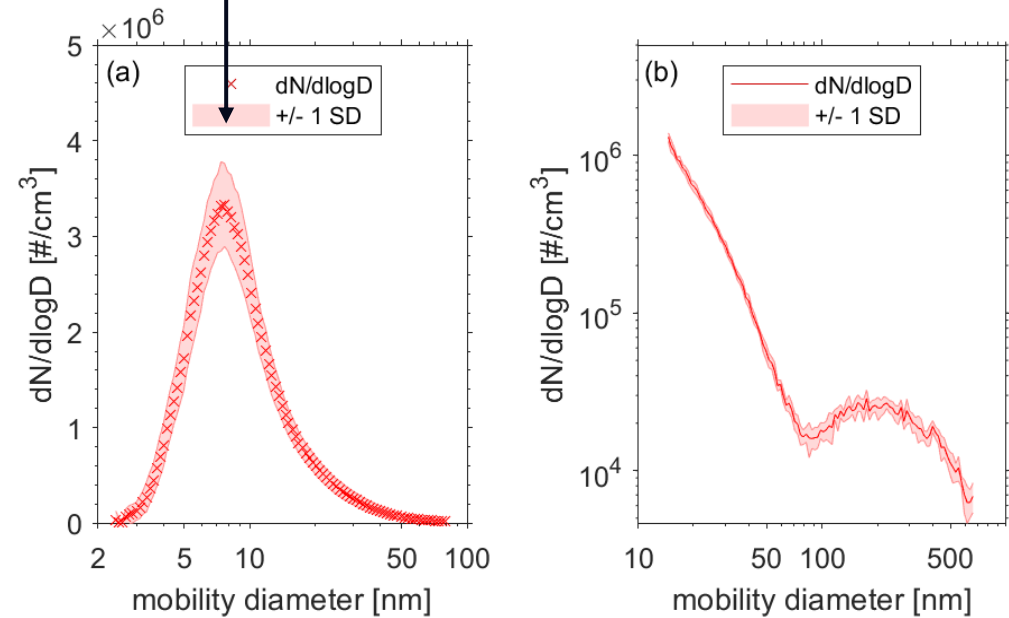
Vi ser på størrelsesfordelinger!

Steegeos



Modes for diameters: ~80 nm.

Stearinlys



Modes for diameters: ~7.5 nm.

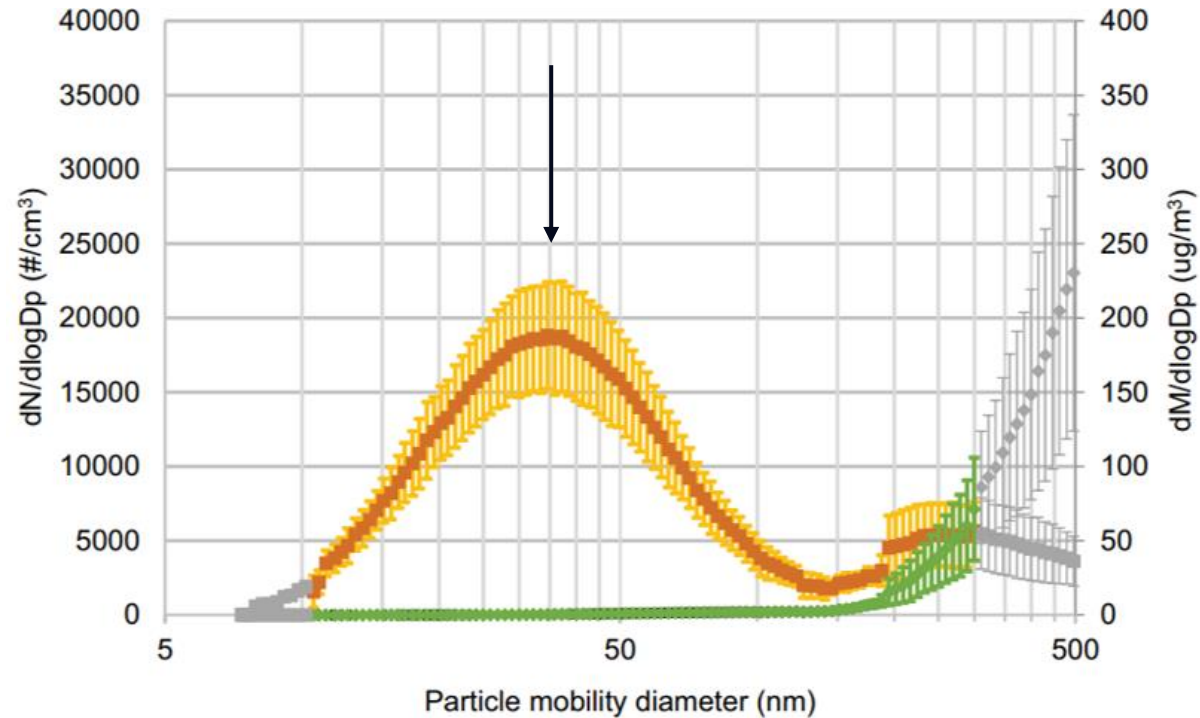


# PARTIKLER – HVAD FANDT VI?



—  
Vi ser på størrelsesfordelinger!

## E-cigaretter



Modes for diameters: ~30-40 nm.



# HELBRED – HVAD MÅLTE VI?



Næsevolumen

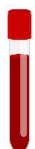
Inflammationsmarkører i næsen (næseskyl)



Inflammationsmarkører i alveolerne (PExA)

Lungefunktionstest

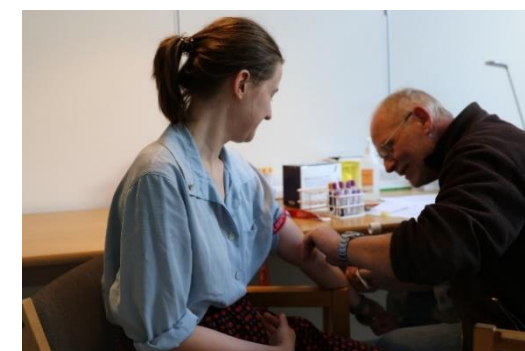
NO i udåndingsluften



Inflammationsmarkører (fedt, cytokiner, DNA-skader, etc.) i blodet.

Selvrapporterede symptomer i løbet af eksponeringen.

0 t undersøgelse	Eksponering	5 t undersøgelse	...	24 t undersøgelse
---------------------	-------------	---------------------	-----	----------------------



# HELBRED – HVAD FANDT VI?

---

Objektive helbredsmålinger og selv-rapporterede symptomer:

## Stegeos

Mere fedt i blodet → åreforkalkning.

DNA-skader → mutationer → kræft.

Mindre næsevolumen (mænd) → betændelsestilstand.

Påvirkning af de mindste luftveje (alveolerne).

Mange flere symptomer og mindsket velvære sammenlignet med ren luft.

## Stearinlys

Inflammationsmarkør (CCL2) i blodet steg.

NO i udåndingsluften faldt (mænd).

Påvirkning af de mindste luftveje (alveolerne).

Øjen- og næseirritation sammenlignet med ren luft.





# HELBRED – HVAD FANDT VI?

---

Objektive helbredsmaalinger og selv-rapporterede symptomer:

## **E-cigaretter**

Mere fedt og kolesterol i blodet → åreforkalkning på sigt.

Tendens til fald i lungefunktion.

Påvirkning af de mindste luftveje (alveolerne).

Irritation i hals og hostetrang sammenlignet med ren luft.



\* OBS: lille studie (få deltagere) og meget lave eksponeringsniveauer!



# KONKLUSIONER

---



Kortvarig partikelforurening i indeklimaet kan føre til flygtige helbredseffekter som mild inflammation (betændelsestilstand) og forringet velvære.

→ Eksponering for partikler i indeklimaet er således potentielt skadeligt.

- Stearinlys og særligt stegeos påvirkede unge med mild astma i både lunger og blod. Derudover rapporterede de unge nedsat velbefindende ved især stegeos.

- Passiv damp fra e-cigaretter påvirkede luftvejene og fedtniveauet i blodet hos ældre med KOL.

\* NB: Flere af disse fund er nye og kræver yderligere undersøgelser. Studierne har begrænsninger og vi opfordrer til mere forskning!



# PERSPEKTIVER – HVAD GØR VI SÅ NU?

## Nationale forebyggende tiltag

- Guidelines, råd og viden til befolkningen.
- Tekniske løsninger → øge ventilation indendørs.
- Forbyd salg af e-cigaretter.

## Individuelle forebyggende tiltag

- Stegeos: Anvend emhætte, luk døre til køkken, luft ud med gennemtræk.
- Stearinlys: Begræns forbruget. Undgå blafrende flamme. Luft ud når lysene er slukket. Anvend LED-lys.
- E-cigaretter: Stop brugen af e-cigaretter. Damp ikke indendørs.

## Ni nyttige indeklimaråd



Tør tøj udendørs



Luft ud mindst tre gange dagligt



Luft ud før sengetid



Undgå plastiklegetøj fra før 1999



Fjern støv



Undgå stearinlys



Luk døren når du laver mad og brug emhætten



Lad døren stå åben om natten



Luk døren til fugtige rum

# INDEKLIMA I SKOLER

---



# HVORDAN STÅR DET TIL?



> 1/2 mio. børn går i folkeskolen.<sup>1</sup>



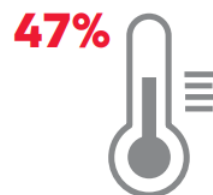
9% dårligere testresultater ved dårligt indeklima.<sup>2</sup>



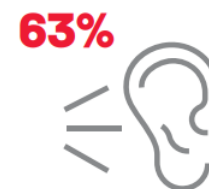
90% af landets folkeskoler er bygget før 1995, hvor der ingen krav var om ventilation. [Base: 1.289 skoler]<sup>3</sup>



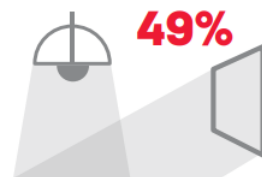
91% af klasseværelsernes CO<sub>2</sub>-niveau overstiger dagligt grænseværdien på 1.000 ppm. [Base: 245 klasser]<sup>3</sup>



47% af brugstiden i klasseværelserne overstiger CO<sub>2</sub>-niveauet grænseværdien på 1.000 ppm. [Base: 245 klasser]<sup>3</sup>



63% af brugstiden opholder eleverne sig i et lydtrykniveau over 63 dB. [Base: 98 klasser]<sup>3</sup>

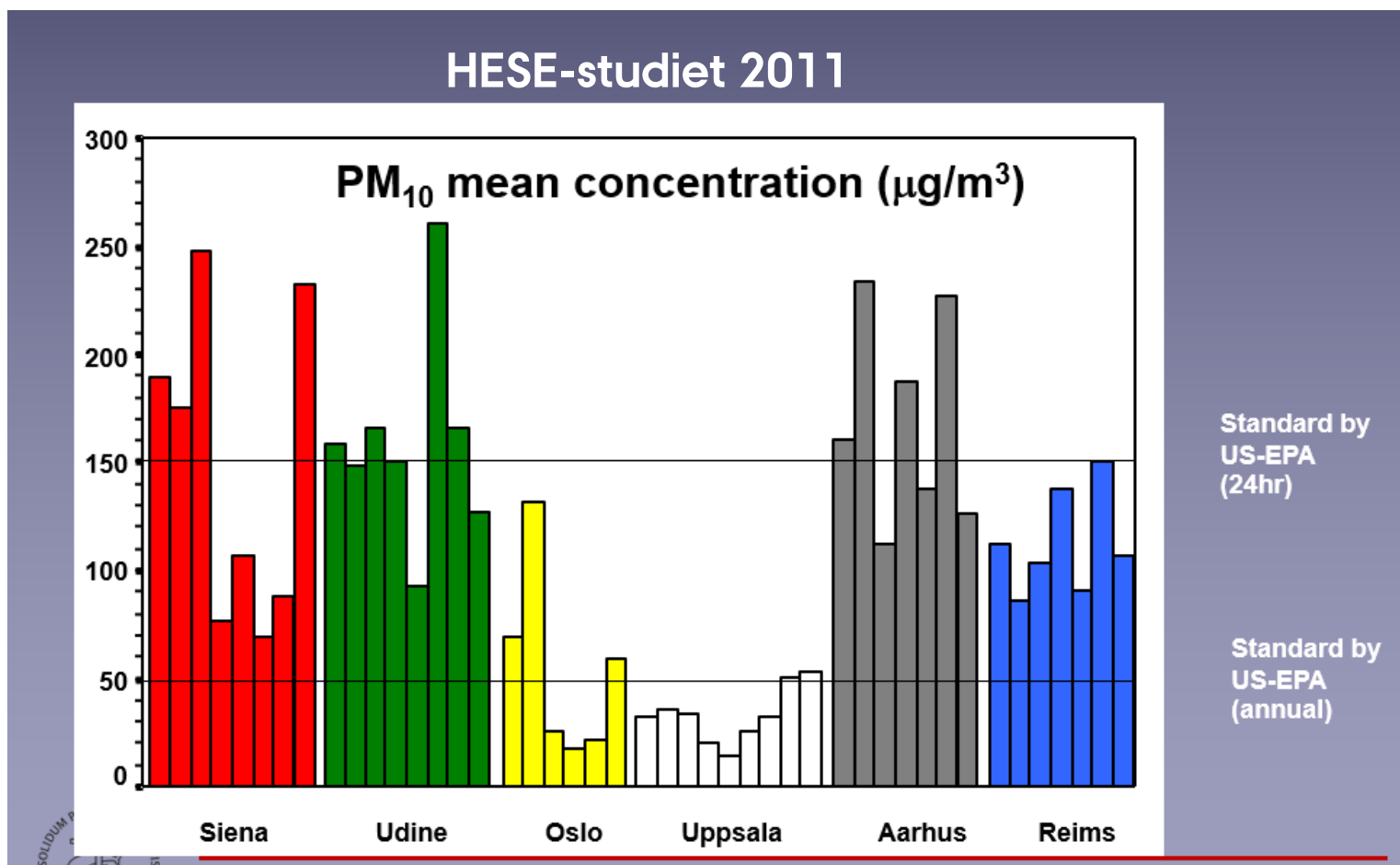


49% af klasseværelserne har i brugstiden et belysningsniveau lavere end grænseværdien på 300 lux. [Base: 74 klasser]<sup>3</sup>

- 1: Danmarks Statistik, 2019
- 2: Indeklima i skoler, DTU, 2011
- 3: Indeklima i skoler, Realdania, 2017



# HVORDAN STÅR DET TIL MED PARTIKLER?



→ Niveauer > 50 µg/m<sup>3</sup> i  
78% af klasselokalerne

Kilder:

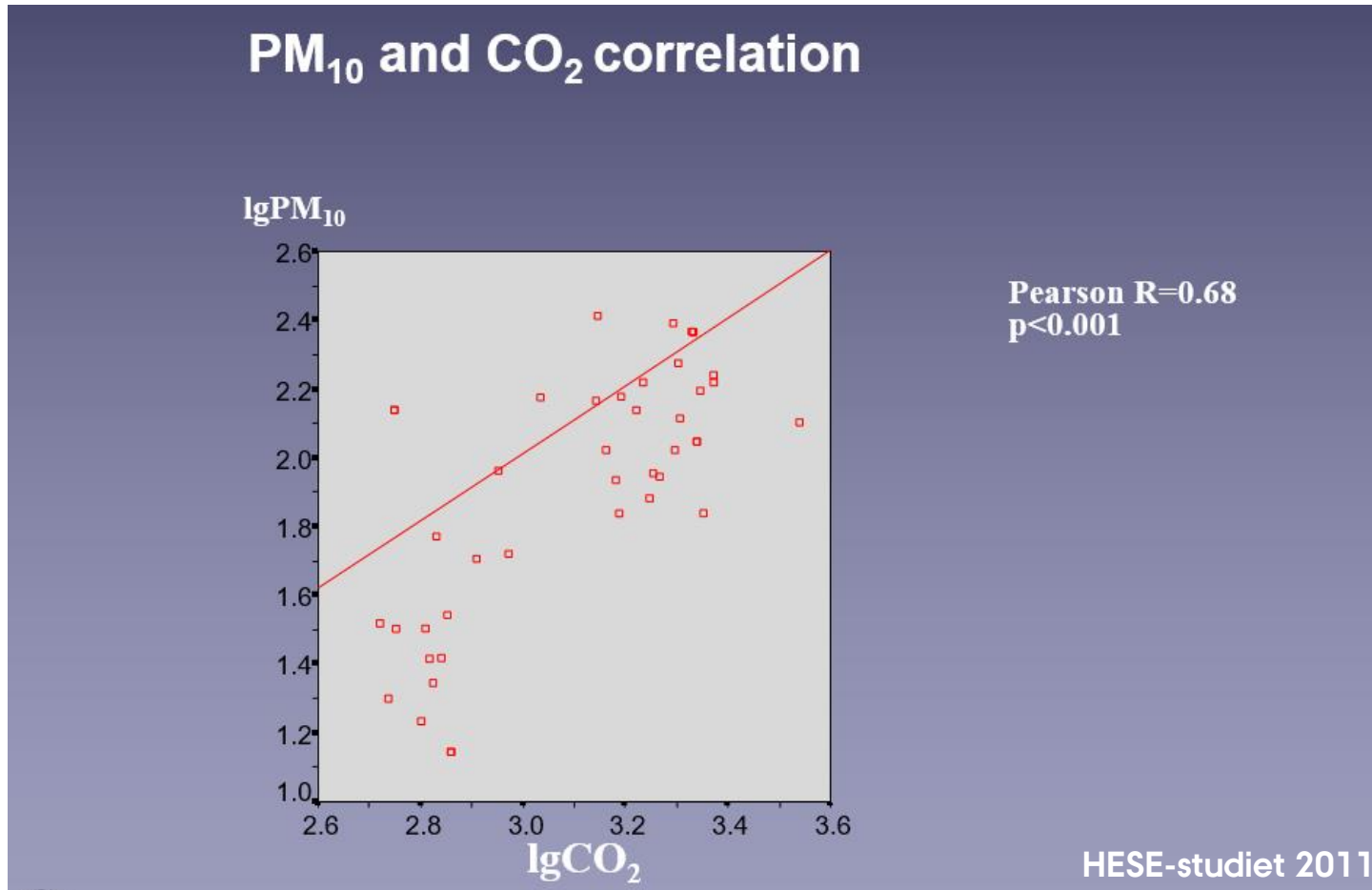
- Trafik udendørs (land/by)
- Kantine (madlavning)
- Placering af klasselokale
- Aktiviteter (billedkunst)





# HVORDAN STÅR DET TIL MED PARTIKLER?

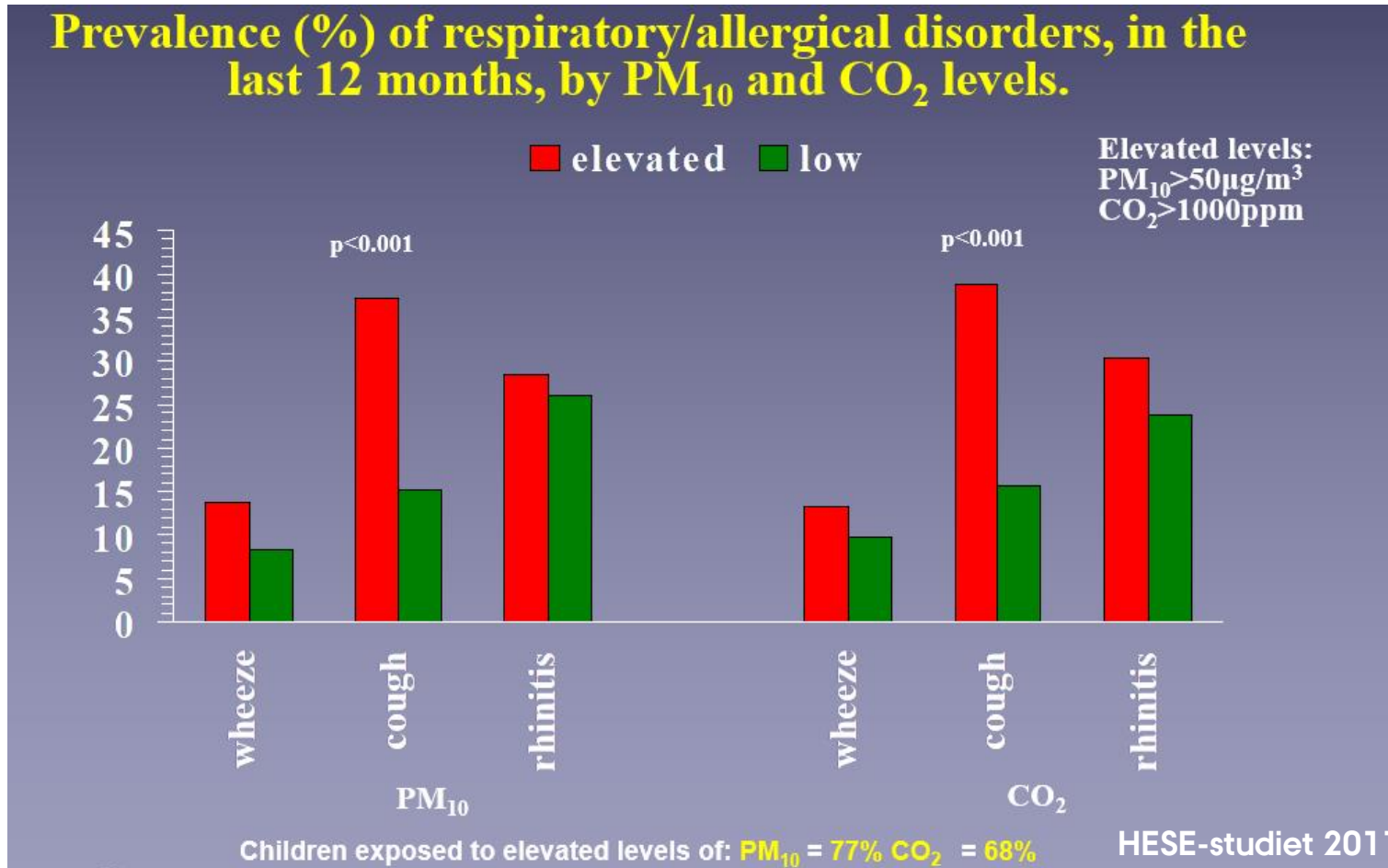
---



→ Menneskelig aktivitet betyder noget for både CO<sub>2</sub>- og partikel-niveauerne i klasselokaler.

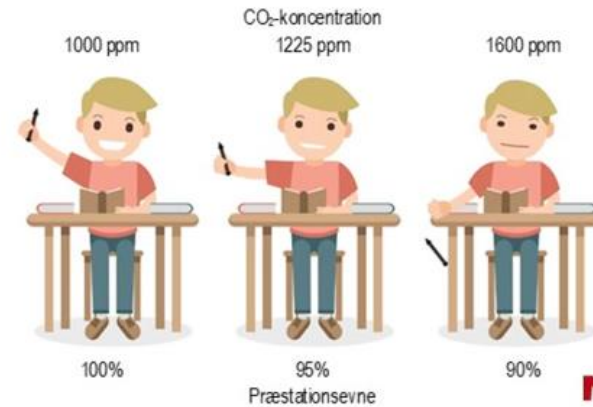
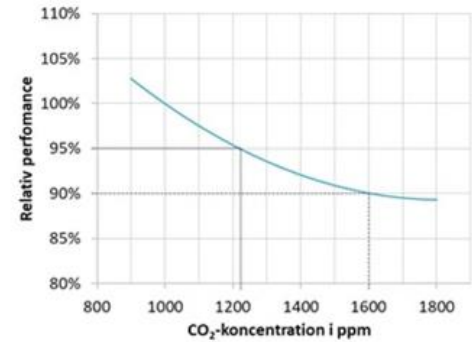
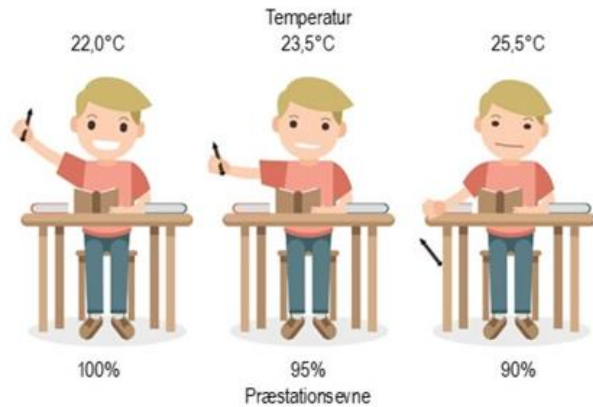
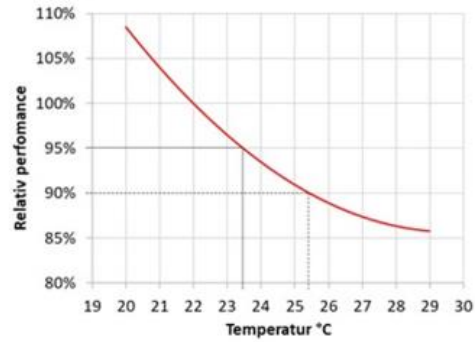


# HVAD HAR PARTIKELNIVEAUERNE AF KONSEKVENSER?



# HVAD HAR CO2 OG TEMPERATUR AF KONSEKVENSER?

Temperatur og luftkvalitet



# HVAD KAN VI GØRE?

- Identificere kilder til partikeldannelse og om muligt begrænse kilderne.
- Klasselokaler bør ventileres!

Naturlig ventilation m. jævnlig udluftning (på de rigtige tidspunkter).

Mekanisk ventilation jf. HESE-studiet og Masse-eksperimentet 2021.

”Masse-eksperimentet 2021”: Ventilation hjælper på kemien. Kombinationen af mekanisk og naturlig ventilation i klassen reducerer kemien (VOC'er) i de danske klasselokaler bedst.



**\*masse eksperiment** astra\*

## I kan gøre noget selv

Handlinger i selv kan udføre, hvis I vil forbedre luften i klassen. Handlingerne er foreslået på baggrund af resultaterne fra Masseeksperiment 2021 'Indeklima' og 'Kemi i luften'.

Se mere på [masseeksperiment.dk](http://masseeksperiment.dk)

**Brug mekanisk ventilation**  
Tjek, at den mekaniske ventilation fungerer. Den skal køre, så længe I er i lokalet. Det hjælper både på CO<sub>2</sub> og VOC-koncentrationen.

**Åbn vinduerne**  
Naturlig ventilation, som åbne vinduer, virker. Luft ud strategisk fx lige efter pauser, hvor der har været aktivitet i lokalet. Udluftning sænker koncentrationen af VOC fra madpakker, sved, parfume osv. og bidrager positivt til luftens kvalitet.

**Luft ud om morgenen**  
Start dagen med naturlig udluftning, fx når den første meder ind. Det vil afhjælppe VOC.

**Ryd op**  
Ryd op i klasselokalet. Lag bøger væk, tøm skraldespanden og hæng overtøj uden for klasselokalet. Det bidrager til sammen positivt til bedre luftkvalitet.

**Undervisningsmiljørepræsentanter**  
Hvis I ikke allerede har Undervisningsmiljørepræsentanter på skolen, så bed om at få disse. Lad dem repræsentere jer i dialoger og beslutninger om skolens indeklima. Læs mere på [skoleelever.dk/undervisningsmiljorepresentant/](http://skoleelever.dk/undervisningsmiljorepresentant/)

**Duksehjulet**

## Brug mekanisk ventilation

Tjek, at den mekaniske ventilation fungerer. Den skal køre, så længe I er i lokalet. Det hjælper både på CO<sub>2</sub> og VOC-koncentrationen.

## Åbn vinduerne

Naturlig ventilation, som åbne vinduer, virker. Luft ud strategisk fx lige efter pauser, hvor der har været aktivitet i lokalet. Udluftning sænker koncentrationen af VOC fra madpakker, sved, parfume osv. og bidrager positivt til luftens kvalitet.



# TAK TIL ...

---

## **Sponsorer**

Realdania Forskning (<https://realdania.dk/>). Graduate School of Health, Aarhus Universitet.

## **Klimakammergruppen**

Torben Sigsgaard, Vibeke H. Gutzke, Peter Ravn, Kirsten Østergaard & Ole Dam

## **Samarbejdspartnere**

Institut for Kemi, Aarhus Universitet.

Institut for Folkesundhed, Københavns Universitet.

Aarhus Universitetshospital.

School of Public Health and Community Medicine, University of Gothenburg.

iNANO, Aarhus Universitet.

Tak til alle deltagerne i begge studierne!

Tak til Professor Torben Sigsgaard for viden om indeklimaet på skoler.



**SPØRGSMÅL?**





AARHUS  
UNIVERSITY

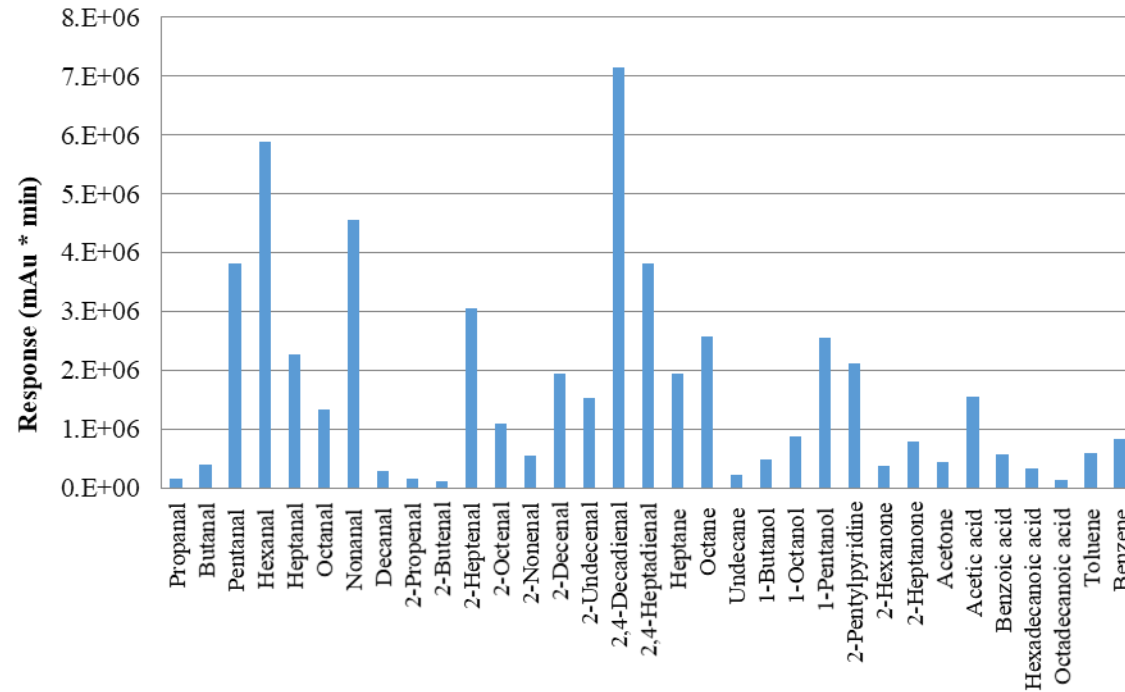
**EKSTRA SLIDES**

# STEARINLYS OG STEGEOS

Measurement	Unit	Clean air exposure	Cooking exposure	Candle exposure
Number of sessions, <i>N</i>		10	11	11
Temperature	°C	22.9 ± (0.2)	22.9 ± (0.2)	23.1 ± (0.2)
Humidity	RH%	43.8 ± (1.2)	43.1 ± (1.0)	43.2 ± (0.7)
CO <sub>2</sub>	ppm	629 ± (74)	542 ± (43)	915 ± (66)
NO <sub>2</sub> <sup>†</sup>	ppb	2.1 ± (0.5)	6.5 ± (1.8)	52.9 ± (1.8)
PM <sub>2.5</sub>	µg/m <sup>3</sup>	5.8 ± (6.8)	96.1 ± (13.1)	89.8 ± (9.3)
PM <sub>10</sub>	µg/m <sup>3</sup>	3.0 ± (1.0)	97.2 ± (11.7)	91.4 ± (7.6)
Total particle number conc. (2.4-79.1 nm) <sup>†</sup>	#/cm <sup>3</sup>	1.1 x 10 <sup>3</sup> (1.2 x 10 <sup>3</sup> ) <sup>a</sup>	5.9 x 10 <sup>3</sup> (6.5 x 10 <sup>3</sup> ) <sup>b</sup>	1.7 x 10 <sup>6</sup> (1.8 x 10 <sup>5</sup> ) <sup>c</sup>
Total particle number conc. (14.6-661.2 nm) <sup>†</sup>	#/cm <sup>3</sup>	8.8 x 10 <sup>2</sup> (3.4 x 10 <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>	7.2 x 10 <sup>4</sup> (2.5 x 10 <sup>4</sup> ) <sup>b</sup>	3.7 x 10 <sup>5</sup> (1.3 x 10 <sup>5</sup> ) <sup>c</sup>



# VOC'ER – STEGEOS



# E-CIGARETTER

Measurement	Unit	Clean air exposure	Passive vape exposure
Number of sessions, <i>N</i>		9	8
Temperature	°C	22.9 (0.3)	22.8 (0.4)
Humidity	RH%	42.8 (1.7)	42.2 (2.7)
CO <sub>2</sub>	ppm	573 (59)	617 (49)
O <sub>3</sub>	ppb	0.51 (1.5)	2.64 (0.9)
Sound level Leq	dB(A)	47.3 (3.1)	48.5 (3.8)
PM <sub>2.5</sub>	µg/m <sup>3</sup>	3.4 (2.1)	95.0 (140)
Solair (particles > 500 nm)	#/m <sup>3</sup>	6.8x10 <sup>4</sup> (3.9x10 <sup>4</sup> ) <sup>a</sup>	6.1x10 <sup>7</sup> (2.1x10 <sup>7</sup> )
P-trak (20-1000 nm)	#/cm <sup>3</sup>	107 (43.3) <sup>b</sup>	1.3x10 <sup>4</sup> (2.2x10 <sup>4</sup> ) <sup>c</sup>
Total particle number conc. (7.37-299.6 nm) <sup>†</sup>	#/cm <sup>3</sup>	123.3 (-) <sup>d</sup>	1.2x10 <sup>4</sup> (8.6x10 <sup>2</sup> ) <sup>e</sup>
Total particle number conc. (10.6-495.8 nm) <sup>†</sup>	#/cm <sup>3</sup>	5.0 (4.2) <sup>f</sup>	1.7x10 <sup>4</sup> (1.1x10 <sup>3</sup> ) <sup>g</sup>

