

**FORCE Technology**

9. april 2024

# Overvågning af luftkvalitet i Københavns Kommune

Årlig afrapportering for 2023



[tom side]

Indholdsfortegnelse:

Resumé.....	4
Summary in English.....	6
1 Indledning .....	8
2 Forkortelser .....	9
3 Måleprogram og metoder.....	9
3.1 Datapræsentation på hjemmeside .....	9
3.2 Beskrivelse af målestationer.....	9
3.3 Forureningsparametre .....	11
3.4 Grænseværdier .....	12
3.5 Målemetoder.....	13
4 Måleresultater .....	14
4.1 NO <sub>2</sub> .....	14
4.2 Partikulær masse, PM <sub>2,5</sub> .....	18
4.3 Partikelantal, PN.....	21
4.4 Black Carbon, BC.....	23
5 Variationer i luftkvalitet.....	26
5.1 Luftkvaliteten på hverdage.....	26
5.2 Sammenstilling af døgnvariationer .....	28
5.3 Episoder med forhøjede niveauer af PN .....	30
Bilag A Målemetoder .....	32
NO <sub>x</sub> (NO og NO <sub>2</sub> ) .....	32
Partikulær masse (svævestøv), PM <sub>2,5</sub> og PM <sub>10</sub> .....	32
Partikelantal, PN .....	33
Black Carbon, BC .....	33
Bilag B Datakvalitet og datafangst .....	34
Bilag C Timemiddelværdier for NO <sub>2</sub> , PM <sub>2,5</sub> , PN og BC .....	35
Bilag D Kontaktinformation .....	39
Om FORCE Technology .....	39
Medarbejdere .....	39

## Resumé

Denne rapport præsenterer luftkvalitetsmålinger udført i 2023 på fem målestationer i Københavns Kommune. Teknik- og Miljøforvaltningen og Sundheds- og Omsorgsforvaltningen i Københavns Kommune ønsker med luftkvalitetsmålingerne at indhente ny viden med henblik på at vurdere de sundhedsskadelige virkninger af luftforureningen i kommunen.

Målestationerne blev installeret i august/september 2020 på Krügersgade, Søtorvet, Folehaven, Hillerødgade og Backersvej. Placeringen af målestationerne er valgt med henblik på at opnå mest mulig viden om

- luftforurening fra vejtrafik.
- luftforurening fra brændeovne.
- luftforurening, hvor flest færdes i København, og hvor det må formodes, at man bliver udsat for luftforurening.
- luftforurening, hvor der er tæt beboelse og flere institutioner.

Målinger af NO<sub>2</sub>, partikulær masse (PM<sub>2,5</sub>) og partikelantalskoncentrationer (PN) blev udført på alle fem målestationer, mens målinger af Black Carbon (BC) blev udført på Folehaven og Backersvej. Målingerne af PM<sub>10</sub> undergår i 2024 nogle undersøgelser, og derfor er måleresultater for PM<sub>10</sub> ikke omfattet i denne årsrapport. Måleresultater for PM<sub>10</sub> vil for hele perioden fra målingernes start i 2020 blive inkluderet i afrapporteringen for 2024.

I Danmark er grænseværdier for luftkvaliteten i udeluft bestemt ved EU's luftkvalitetsdirektiver. Københavns Kommune har desuden fastlagt en ambition om i 2030 at overholde WHO's retningslinjer for PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub> og NO<sub>2</sub>, hvilke er markant strammere end EU's nuværende grænseværdier. Grænseværdier og retningslinjer kan enten have til formål at regulere årsmiddelsoncentrationer eller regulere omfanget af perioder med stærkt forhøjede koncentrationer. Hverken EU eller WHO har fastsat grænseværdier eller retningslinjer for PN og BC.

Alle EU's grænseværdier for NO<sub>2</sub> og PM<sub>2,5</sub> var i 2023 overholdt på alle fem målestationer. WHO's retningslinjer for årsmiddelværdier af NO<sub>2</sub> og PM<sub>2,5</sub> blev overskredet på alle fem målestationer, med undtagelse af årsmiddel NO<sub>2</sub> på Backersvej. WHO's retningslinjer for omfanget af forhøjede døgnmiddelværdier af NO<sub>2</sub> og PM<sub>2,5</sub> blev overskredet på alle målestationerne. Resultaterne er opsummeret som oversigt i Tabel 1.

For måleperioden 2021-2023, hvor data fra hele kalenderår er tilgængelige, blev der gennemgående observeret betydelige reduktioner i årsmiddel NO<sub>2</sub> samt antallet af døgn med forhøjede niveauer af NO<sub>2</sub> for de 4 målestationer, der er udsat for relativt høj trafikintensitet. For Backersvej har niveauerne for NO<sub>2</sub> ligget lavere og nær WHO's retningslinjer gennem alle tre kalenderår, og uden en helt så tydelig trend over tid. For måleperioden 2021 til 2023 blev der observeret markante reduktioner i årsmiddel PM<sub>2,5</sub> samt antal døgn med forhøjede niveauer af PM<sub>2,5</sub> på alle fem målestationer.

Antalskoncentrationerne af partikler (PN) kan betragtes som et mål for ultrafine partikler (UFP). De højeste årsmiddelværdier for PN blev observeret på Folehaven efterfulgt af Hillerødgade og Backersvej. Det er højst sandsynligt emissioner fra lokal vejgående trafik, der medfører de relativt højere niveauer af PN på Folehaven og Hillerødgade. På Backersvej er mønstret anderledes, med en stærk kobling mellem forhøjede niveauer af PN og sydlige-sydøstlige vindretninger, hvilket højst sandsynligt til en vis grad kan tilskrives emissioner fra Københavns Lufthavn. For Krügersgade, Folehaven og Backersvej observeres for perioden 2021 til 2023 ikke nogen entydig overordnet trend i udviklingen for årsmiddel PN. For Søtorvet og Hillerødgade kan observeres en tendens mod lavere niveau af PN i størrelsesordenen 5-10% for perioden 2021-2023.

Årsgennemsnittet af Black Carbon (BC) var på Folehaven i 2023 højere end på Backersvej, hvilket til dels kan tilskrives den langt større trafikintensitet på Folehaven ift. Backersvej. For perioden 2021 til 2023 observeredes en betydelig reduktion i BC på Folehaven og en relativt mindre reduktion i BC på Backersvej. Dette indikerer, at der på gadeniveau fra 2021 til 2023 er sket målelige reduktioner i koncentrationerne af sodpartikler fra den lokale trafik.

Variationer i forureningsparametrene fordelt på ugedage understøtter, at niveauerne af NO<sub>2</sub>, PN og BC og i mindre grad PM<sub>2,5</sub> kan være koblet til den lokale trafikintensitet. Det er velkendt, at niveauet af PM<sub>2,5</sub> er stærkt koblet til langtransport. Dette understøttes af en markant korrelation mellem PM<sub>2,5</sub> målt på de forskellige målestationer.

Det kan opsummeres, at for luftkvalitetsparametrene NO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub> og BC observeredes betydelige reduktioner i perioden 2021-2023, særligt for lokationer eksponeret for høj lokal trafikintensitet. Dette skyldtes formentlig mindskede udledninger fra vejgående trafik i København. Det kan sandsynligvis også til dels tilskrives et lavere niveau af langtransporteret luftforurening til København, da mindskningerne i PM<sub>2,5</sub> indikerer mindre langtransport - i det mindste for den parameter. Det må forventes at luftkvaliteten i København forbedres yderligere i trafikerede områder i takt med at antallet af ældre og forurenende køretøjer mindskes.

Tabel 1. Oversigt over hvilke grænseværdier (EU) og retningslinjer (WHO) der blev hhv. overholdt (markeret med grønt) og ikke overholdt (markeret med rødt) for de fem målestationer i 2023. Kriterierne for grænseværdier og retningslinjer er beskrevet nærmere i afsnit 3.4.

	Parameter	Krügersgade	Søtorvet	Hillerødgade	Folehaven	Backersvej
EU	NO <sub>2</sub> (Timemiddelværdi)					
	NO <sub>2</sub> (Årsmiddelværdi)					
	PM <sub>2,5</sub> (Årsmiddelværdi)					
WHO	NO <sub>2</sub> (Døgnmiddelværdi)					
	NO <sub>2</sub> (Årsmiddelværdi)					
	PM <sub>2,5</sub> (Døgnmiddelværdi)					
	PM <sub>2,5</sub> (Årsmiddelværdi)					

## Summary in English

This report presents the results of air quality measurements performed in 2023 at five monitoring stations in Copenhagen. With the monitoring stations, the Copenhagen Municipality wishes to gain additional knowledge about the ambient air quality and potential health effects from air pollution in Copenhagen.

The monitoring stations are located at: Krügersgade, Sørtorvet, Folehaven, Hillerødgade and Backersvej. The monitoring stations have been placed with the objective to focus on the assessment of:

- Air pollution from road traffic.
- Air pollution from wood stoves.
- Air pollution in public areas where air pollution is expected to be elevated.
- Air pollution in areas with high-density housing.

Measurements of nitrogendioxide (NO<sub>2</sub>), particulate matter (PM<sub>2,5</sub>) and aerosol particle number concentration (PN) were carried out at all five monitoring stations, while Black Carbon (BC) was measured at Folehaven and Backersvej. Measurements of PM<sub>10</sub> is during 2024 undergoing some additional investigations before results from 2023 can be reported and therefore, the results of the PM<sub>10</sub> measurements are not included in this version of the 2023 annual report.

In Denmark, the limit values regarding ambient air quality are given by the European Union (EU) legislation. The World Health Organization (WHO) has introduced some lower guideline values regarding PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub> and NO<sub>2</sub>, and the Municipality of Copenhagen aims to meet those limit values in 2030. Limit values are either aimed towards regulation of annual averages, or alternatively aimed towards regulation of periods with elevated pollution levels. Neither EU nor WHO have introduced limit values for PN and BC.

The EU limit values were not exceeded for NO<sub>2</sub> and PM<sub>2,5</sub> during 2023. WHO's guidelines for the annual average concentrations of NO<sub>2</sub> and PM<sub>2,5</sub> were exceeded at all monitoring stations, with the exception of NO<sub>2</sub> at Backersvej. WHO's guidelines for the number of days with elevated pollution levels of NO<sub>2</sub> and PM<sub>2,5</sub> were exceeded at all monitoring stations. An overview of the results' compliance with EU's limit values and WHO's guidelines is presented in Tabel 1 in the Danish Summary above (Resumé).

For the measurement period 2021-2023 data from entire years are available. During that period, significant reductions in annual averages of NO<sub>2</sub> as well as the number of days with elevated levels of NO<sub>2</sub> have been observed for the four measurement stations exposed to relatively high local street traffic intensity. Backersvej is located in a residential area, and the levels of NO<sub>2</sub> have not changed significantly there, but the levels have been close to the WHO guidelines for the whole period. Significant reductions in annually averaged PM<sub>2,5</sub> as well as the number of days with elevated levels of PM<sub>2,5</sub> have been observed over the period 2021-2023 at all five measurement stations.

The particle number concentration (PN) can be considered a measure of the concentration of ultrafine particles (UFP). The highest annual averages of PN were measured at Folehaven followed by Hillerødgade and Backersvej. The relatively high PN levels at Folehaven and Hillerødgade are most likely linked to the relatively high traffic intensity close to those measurement stations. There is a different picture at Backersvej, where elevated levels of PN are strongly coupled to southerly and southeasterly wind directions. The Copenhagen Airport is located not too far from Backersvej in that wind sector, so it is likely that the elevated levels of PN occasionally observed at Backersvej at least in part can be attributed to emissions from the airport. At Krügersgade, Folehaven and Backersvej there is no clear trend in the PN levels over the period 2021-2023. At Sørtorvet and Hillerødgade a decreasing trend in PN at the order of 5-10% can be observed for the period 2021-2023.

The annual average of Black Carbon (BC) was in 2023 higher at Folehaven relative to Backersvej, which most likely was due to the significantly higher traffic intensity at Folehaven. For the period 2021-2023, a significant reduction in BC has been observed for Folehaven, while a more modest reduction was observed at Backersvej. Those observations indicate that emissions of soot particles from local traffic have decreased significantly.

Variations in the concentrations of the measured air quality parameters on weekdays support that the levels of NO<sub>2</sub>, PN and BC and to a lesser extent PM<sub>2,5</sub> can be coupled to the local traffic intensity. It is well-known that PM<sub>2,5</sub> in Copenhagen is strongly linked to long-range transport, which is supported by the pronounced correlation between PM<sub>2,5</sub> measured at the different stations.

It can be summarised, that for the air quality parameters NO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub> and BC significant reductions were observed over the period 2021-2023, which was particularly pronounced for the measurement stations exposed to relatively high local traffic intensity. The improvements in air quality were most likely due to reduced emissions from street-level traffic in Copenhagen. However, it could potentially in part be ascribed to less long-range transport of air pollution as indicated by the reductions in PM<sub>2,5</sub>. It is expected that the air quality in Copenhagen will improve further in areas with high traffic density as older and polluting vehicles are phased out.

## 1 Indledning

Denne rapport præsenterer luftkvalitetsmålinger udført af FORCE Technology for Københavns Kommune på fem målestationer i København. Teknik- og Miljøforvaltningen og Sundheds- og Omsorgsforvaltningen i Københavns Kommune ønsker med luftkvalitetsmålingerne at opnå øget viden om luftforurening og de deraf følgende sundhedsskadelige effekter.

Længerevarende såvel som kortvarig eksponering for forringet luftkvalitet kan medføre helbredseffekter. Derfor findes der to typer af grænseværdier for luftforureningsparametre, grænseværdier for langtidseksponering og grænseværdier for korttidseksponering. Grænseværdier relateret til luftkvalitet har derfor enten til formål at regulere årsmiddelværdier, eller til formål at regulere omfanget af timer eller døgn med markante forringelser i luftkvalitet<sup>1</sup>.

I tillæg til helbredseffekter, så kan visse typer af luftforurening påvirke miljø og klima negativt. Emissioner af fx NO<sub>x</sub> (NO + NO<sub>2</sub>) kan føre til forsurening af miljøet. Emissioner af fx Black Carbon (BC) partikler har en opvarmende effekt på klimaet. Så der er flere gode grunde til at reducere niveauet af luftforurening.

På alle fem målestationer i Københavns Kommune måles på nitrogendioxid (NO<sub>2</sub>), partikelmasse (PM<sub>2,5</sub>) og partikelantal (PN) mens Black Carbon også måles på Folehaven og Backersvej. Placeringen af målestationerne er valgt med henblik på mest mulig viden om:

- luftforurening fra vejtrafik.
- luftforurening fra brændeovne.
- luftforurening, hvor flest mennesker færdes i København, og hvor det må formodes, at man bliver udsat for luftforurening.
- luftforurening, hvor der er tæt beboelse og flere institutioner.

EU og WHO har henholdsvis grænseværdier og retningslinjer for NO<sub>2</sub> og PM<sub>2,5</sub>, mens der for nuværende ikke opereres med grænseværdier for PN og BC. Generelt kommer luftforureningen i København dels fra lokale kilder, og dels i form af langtransporterede gasser og partikler. Lokalt er vejtrafikken typisk en betydelig kilde til NO<sub>x</sub> (NO + NO<sub>2</sub>), partikelantal og Black Carbon, mens det lokale bidrag til partikler bestemt som PM<sub>2,5</sub> på årsbasis er mere beskedent i forhold til bidraget fra langtransport<sup>2</sup>.

Denne afrapportering omfatter kalenderåret 2023 med sammenligninger til målinger foretaget i de sidste måneder af 2020 samt kalenderårene 2021 og 2022. I dele af måleperioden fra 2020 til 2022 har samfundet i varierende omfang været påvirket af COVID-19 pandemien, hvilket kan have medført ændret adfærd og trafikmønstre med konsekvens for luftkvaliteten i København.

I afrapporteringen for 2020 og 2021 er både målinger af PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> inkluderet. Nogle begrænsninger for målingerne af PM<sub>10</sub> er blevet identificeret og udbedret i løbet af 2023. Målingerne af PM<sub>10</sub> vil i 2024 blive underkastet udvidede analyser med henblik på validering. PM<sub>10</sub> resultater for hele måleperioden vil blive inkluderet i afrapporteringen for 2024.

Følgende er ikke omfattet af FORCE Technologys akkreditering<sup>3</sup>:

- Måleresultater for parametre uden for akkreditering 51: PN, BC, temperatur og øvrige meteorologiske data.
- Vurderinger, tolkninger og diskussioner af måleresultater.

<sup>1</sup> WHO: WHO global air quality guidelines, 2021.

<sup>2</sup> DCE: Luftkvalitet 2019, Status for den nationale luftkvalitetsovervågning i Danmark, 2021.

<sup>3</sup> Fremadrettet angives det ikke i alle sammenhænge eksplicit om der er tale om akkrediterede målinger.



## 2 Forkortelser

- BC Black Carbon
- BC<sub>WB</sub> Black Carbon Wood Burning
- BC<sub>FF</sub> Black Carbon Fossil Fuel
- NO Nitrogenoxid
- NO<sub>2</sub> Nitrogenoxid
- NO<sub>x</sub> NO + NO<sub>2</sub>
- PM<sub>2,5</sub> Masse af partikler med en diameter <2,5 µm.
- PM<sub>10</sub> Masse af partikler med en diameter <10 µm.
- PN Partikelantalskoncentration.

For en nærmere beskrivelse af de enkelte måleparametre henvises til afsnit 3.3.

## 3 Måleprogram og metoder

### 3.1 Datapræsentation på hjemmeside

Foruden indhentning af ny viden ønsker Københavns Kommune at kunne anvende de målte data til løbende at vurdere de mulige sundhedsskadelige effekter af luftforureningen. Data præsenteres via en hjemmeside for borgerne i København samt andre interesserede. Data er tilgængelige på websiden [Monitorering af luftkvaliteten | Københavns Kommunes hjemmeside \(kk.dk\)](#). Data har tidligere været præsenteret på den selvstændige webside [erluftensund.kk.dk](#). Denne side vil blive lukket og vil i en periode efter lukning fungere som henvisning til den nye side på kk.dk

### 3.2 Beskrivelse af målestationer

Der har frem til udgangen af 2023 været opstillet fem målestationer til kontinuert monitoring af luftkvaliteten i Københavns Kommune. Målestationerne har været placeret på de følgende lokationer:

1. Krügersgade 5, Nørrebro
2. Søtorvet 5, Indre By
3. Folehaven 72, Valby
4. Hillerødgade 79, Bispebjerg
5. Trafiklegepladsen ved Backersvej/Formosavej, Amager Øst

Figur 1 viser et oversigtskort over Københavns Kommune med placeringerne af målestationerne indtegnet. Placeringen af målestationer er valgt under hensyntagen til retningslinjerne i EU-direktiv 2008/50/EF samt seneste ændringer i EU-direktiv 2015/1480/EF.

Tabel 2 angiver hvilke luftforureningsparametre, der blev målt på de enkelte målestationer. En beskrivelse af de enkelte parametre fremgår af afsnit 3.3. Foruden de i Tabel 2 listede parametre bestemmes udetemperatur og den relative luftfugtighed ved hver målestation. Der udføres målinger af BC på henholdsvis Folehaven og Backersvej. Dette gøres med henblik på at kunne vurdere effekten af emissioner fra brændeovne og vejgående trafik.

Målestationerne er idriftsat i august/september 2020 og første del af måleprogrammet strakte sig frem til udgangen af 2023. Datafangst fremgår af Bilag B. Fra 2024-2027 videreføres målestationerne på Backersvej, Hillerødgade og Folehaven. Målestationerne på Krügersgade og Søtorvet er taget ned efter udgangen af 2023, og der måles altså ikke her fremadrettet.

Tabel 2. Målte luftkvalitetsparametre på de enkelte målestationer. En beskrivelse af måleparametrene præsenteres i afsnit 3.3. Fra 2024 er målestationerne på Krügersgade og Søtorvet blevet nedlagt.

Måleparametre	Krügersgade	Søtorvet	Folehaven	Hillerødgade	Backersvej
Stationsnr.	1	2	3	4	5
PM <sub>2,5</sub>	x	x	x	x	x
PN	x	x	x	x	x
BC, BC <sub>WB</sub> , BC <sub>FF</sub>			x		x
NO, NO <sub>x</sub> , NO <sub>2</sub>	x	x	x	x	x



Figur 1. Oversigtskort for placeringer af målestationer.

### 3.3 Forureningsparametre

#### 3.3.1 NO, NO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>

NO og NO<sub>2</sub> er gasser, der dannes når luft opnår høje temperaturer, hvilket fx kan forekomme i forbrændingsmotorer. Disse gasser betegnes også kvælstofoxider, og de udledes fra forbrændingsmotorer primært som NO (kvælstofmonoxid) og i mindre omfang som NO<sub>2</sub> (kvælstofdioxid). Den udledte NO oxideres til NO<sub>2</sub> i atmosfæren over sekunder til timer afhængig af tilstedeværelsen af ozon. NO<sub>x</sub> udgør summen af NO + NO<sub>2</sub>.

NO<sub>2</sub> er i modsætning til NO en sundhedsskadelig gas. Der er ikke fastsat grænseværdier for NO i udeluft, og reguleringen af kvælstofoxider i byområder sker iht. EU's grænseværdier for NO<sub>2</sub>. EU har gennem de seneste årtier introduceret skærpede krav til minimering af NO<sub>x</sub> emissioner fra køretøjer. Det er derfor særligt ældre køretøjer med dieselmotorer, der udleder NO<sub>x</sub>, eller alternativt dieseldrevne køretøjer med defekt katalysator. I takt med at antallet af ældre dieseldrevne køretøjer mindskes, så forventes koncentrationen af NO<sub>x</sub> målt på gadeplan i København også at mindskes.

#### 3.3.2 Partikelmasse, PM

PM er en forkortelse for det engelske "Particulate Matter". PM<sub>2,5</sub> bruges som en betegnelse for den del af partikelmassen, der udgøres af partikler med en aerodynamisk diameter mindre end 2,5 µm. Der er iværksat en nærmere undersøgelse af PM<sub>10</sub>-målingerne, så i nærværende rapport fokuseres alene på PM<sub>2,5</sub>.

Det er velkendt, at eksponering for PM<sub>2,5</sub> har negative helbredseffekter for mennesker. PM<sub>2,5</sub> betegnes som respirable partikler – dvs. de kan passere de øvre luftveje og nå helt ud i alveolerne i lungerne, hvilket kan indebære en relativt større sundhedsrisiko end for større partikler, der deponeres i de øvre luftveje.

Sammensætningen af PM<sub>2,5</sub> kan variere meget markant hvad angår partikelstørrelser og kemisk sammensætning, hvilket er koblet til kilderne. I København er forhøjede niveauer af PM<sub>2,5</sub> ofte et resultat af langtransport fra det europæiske kontinent. De højeste niveauer ses oftest i vinterhalvåret og i brændeovnsæsonen. Gennemgående vil helbredseffekterne af PM<sub>2,5</sub> afhænge af partikelstørrelser og kemisk sammensætning. Derfor er det meget nyttigt at opnå mere detaljeret viden om de fysiske-kemiske egenskaber af PM<sub>2,5</sub>.

#### 3.3.3 Partikelantal, PN

Der har de seneste par årtier været øget fokus på helbredseffekter af ultrafine partikler (UFP), som sædvanligvis er defineret som partikler med en diameter mindre end 0,1 µm. En fraktion af de ultrafine partikler kan trænge langt ned i luftvejene og transporteres videre i kroppen fx ind i blodbanen. Ultrafine partikler udgør i princippet en delmængde af PM<sub>2,5</sub>, men da massen af ultrafine partikler er ekstremt lille (i forhold til større partikler) kan koncentrationen af ultrafine partikler sagtens være ekstremt lav eller ekstremt høj, uden at det afspejles i målingen af PM<sub>2,5</sub>. Både WHO og EU anbefaler, at den totale partikelantalskoncentration (PN) måles som en indikator for koncentrationen af ultrafine partikler. De ultrafine partikler udgør en delmængde af PN, men meget ofte rapporteres PN som UFP. I nærværende rapport fastholdes terminologien med partikelantal eller PN, for at tydeliggøre hvilken målemetode, der er blevet anvendt.

Ultrafine partikler kan dannes direkte ved en lang række forbrændingsprocesser, og de kan fx detekteres i udstødning fra bilmotorer eller emissioner fra brændeovne. Alternativt kan ultrafine partikler dannes ved at forskellige gasser reagerer sammen, hvorved små ultrafine partikler skabes. Naturlige emissioner fra planter, træer, biosfæren, vulkaner mm. kan udgøre kilder til sådanne gasser, der kan bidrage til dannelse af ultrafine partikler. De fleste forbrændingsprocesser medfører også emissioner af gasser, der efterfølgende kan

bidrage til dannelse af ultrafine partikler. Altså kan forhøjede koncentrationer af PN og UFP skyldes mange forskellige faktorer. Hverken PN eller UFP er i øjeblikket reguleret i luftkvalitetsdirektivet.

### 3.3.4 Black Carbon, BC

Sodpartikler dannes ved ufuldstændig forbrænding af kulstofholdige brændsler såsom fx benzin, diesel, olie, biomasse, træ og kul. Sodpartikler udgør en delmængde af  $PM_{2,5}$ , der anses for at være særligt bekymrende i forhold til helbred samt den globale opvarmning. Sodpartikler udgøres typisk af nogle kulstofdominerede forbindelser, der optisk er sorte. Koncentrationen af sodpartikler bestemmes i nærværende rapport som 'Black Carbon' (BC). Black Carbon vil typisk bestå af en partikel med en kerne af Elemental Carbon (dvs. kulstof i grundstofftilstanden), med en ydre "belægning" af kondenserede, uforbrændte organiske stoffer (fx tjærestoffer). Elemental Carbon forkortes EC og bestemmes typisk via en laboratorie-analyse med afbrænding af opsamlet partikelmateriale. I Danmark og EU er der indført grænseværdier for EC i arbejdsmiljø med henblik på regulering af eksponeringen for dieselpartikler. EC og BC udledt fra fx dieselmotorer udviser ved måling meget stor korrelation, og derfor vil måling af BC kunne anvendes som en effektiv metode til at estimere/bestemme koncentrationen af EC. Hverken EC eller BC er i øjeblikket reguleret i luftkvalitetsdirektivet.

Det må forventes, at hovedkilderne til BC i København typisk er (i) vejgående trafik eller (ii) brændeovne og alternativt (iii) andre forbrændingsprocesser. Det må forventes, at lokale emissioner såvel som langtransport kan have betydning for niveauet af BC i København. EU-regulering har medført at nyere køretøjer udleder minimale niveauer af BC. Trafikemissioner af BC på gadeplan i København skyldtes i 2023 derfor formentlig hovedsageligt ældre dieselskøretøjer uden partikelfilter monteret – eller dieselskøretøjer med defekt partikelfilter. Der blev i efteråret 2023 indført udvidede miljøzoner i København og på Frederiksberg, hvilket forventeligt bør medføre mindskede emissioner af BC fra vejgående trafik. Ydermere, vil den naturlige fornyelse af køretøjer i Danmark og Europa forventeligt over tid mindske udledninger af BC fra vejgående trafik.

BC udledt fra afbrænding af fossile brændsler fx i forbrændingsmotorer forekommer optisk sorte, mens BC fra brændeovne forekommer relativt mere brunligt. Baseret på de optiske forskelle og empirisk bestemte støttparametre fra litteraturen<sup>4</sup> kan man estimere, hvor stor en andel af BC, der kan tilskrives hhv. afbrænding af fossile brændsler ( $BC_{FF}$ ) og afbrænding af træ/biomasse ( $BC_{WB}$ ).

## 3.4 Grænseværdier

Grænseværdier for luftkvalitet fastsætter hvor meget, der må være af forskellige stoffer i luften. I Danmark er grænseværdier for gasser og partikler i udeluften bestemt ved EU's luftkvalitetsdirektiver. EU's luftkvalitetskrav er i Danmark indført ved lov via Bekendtgørelse nr. 1472<sup>5</sup>. WHO har fastsat retningslinjer for god luftkvalitet på baggrund af den viden, der er om de sundhedsmæssige konsekvenser af luftforurening. Københavns Kommune har optaget WHO's retningslinjer som målsætning for luftkvaliteten i København i 2030. Derfor er det, ud over EU's grænseværdier, relevant at sammenligne resultater af luftkvalitetsmålinger med WHO's retningslinjer for luftkvalitet.

WHO angiver med deres retningslinjer, anbefalinger vedrørende niveauet af forurening mht. komponenter såsom  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  og  $NO_2$  ud fra en sundhedsmæssig vurdering<sup>6</sup>. Tabel 3 viser de gældende EU grænseværdier for de stoffer, der er omfattet af måleprogrammet og beskrevet i denne rapport. Percentil-

<sup>4</sup> Helin et al. Atmospheric Environment 190 (2018) 87–98.

<sup>5</sup> BEK nr. 1472 af 12/12/2017. Bekendtgørelse om vurdering og styring af luftkvaliteten.

<sup>6</sup> WHO's vejledende grænseværdier er typisk baseret på NOAEL (No Observed Adverse Effect Level).

grænseværdier<sup>7</sup> anvendes til at sætte et loft for hvor mange timer eller døgn særligt forhøjede niveauer tillades. Midlingstiden i Tabel 3 og Tabel 4 viser hvilken type grænseværdi, der er tale om.

Tabel 3. EU's grænseværdier for luftkvalitet i udeluft, implementeret i Danmark ved BEK nr. 1472 af 12/12/2017.

Parameter	Grænseværdi (koncentration)	Midlingstid <sup>8</sup>	Højest antal tilladelige overskridelser pr. år
PM <sub>2,5</sub>	25 µg/m <sup>3</sup>	1 år	-
Nitrogendioxid (NO <sub>2</sub> )	200 µg/m <sup>3</sup>	1 time	18 <sup>(9)</sup>
	40 µg/m <sup>3</sup>	1 år	-

Tabel 4 viser WHO's reviderede og vejledende grænseværdier for de stoffer, der er omfattet af måleprogrammet og beskrevet i denne rapport.

Tabel 4. WHO's retningslinjer (2021) for luftkvalitet i udeluft.

Parameter	Grænseværdi (koncentration)	Midlingstid	Højest antal tilladelige overskridelser pr. år
PM <sub>2,5</sub>	15 µg/m <sup>3</sup>	24 timer	3-4 <sup>(10)</sup>
	5 µg/m <sup>3</sup>	1 år	
Nitrogendioxid (NO <sub>2</sub> )	25 µg/m <sup>3</sup>	24 timer	3-4 <sup>(10)</sup>
	10 µg/m <sup>3</sup>	1 år	

Der er endnu ikke fastsat grænseværdier eller retningslinjer for ultrafine partikler (målt som partikelantal, PN) og for Black Carbon, hverken i EU eller af WHO.

### 3.5 Målemetoder

En oversigt over de anvendte måleprincipper er vist i Tabel 5. Målingerne af PM<sub>2,5</sub> samt NO/NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> er omfattet af FORCE Technology's akkreditering nr. 51 fra DANAK. Målingerne af PN og BC er ikke omfattet af akkreditering. En mere detaljeret beskrivelse af målemetoderne findes i Bilag A.

Tabel 5. Oversigt over anvendte målemetoder.

Parameter	Målemetode	Under akkreditering
PM <sub>2,5</sub>	Optisk måling/lysspredning	Ja
NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>	Kemiluminescens	Ja
Partikelantalskoncentration (PN)	CPC (Condensation Particle Counter)	Nej
Black Carbon (BC)	Aethalometer (Optisk måling/lysdæmpning)	Nej

<sup>7</sup> Ofte rapporteres information fra større datasæt ved anvendelse af percentiler, hvilket giver indblik i hvordan data er fordelt. En måde at anskueliggøre percentilen på kan være at rangordne målte data fra højest til lavest. Den 90. percentil udgør en værdi som 90% af målepunkterne ligger under, mens 10% af målepunkterne har højere værdier.

<sup>8</sup> Midlingstiden er varigheden af den måleperiode, som et gennemsnit beregnes over. En midlingstid på en time for fx NO<sub>2</sub> betyder derfor, at NO<sub>2</sub> rapporteres som et gennemsnit for hver time i døgnet.

<sup>9</sup> Den højest tilladelige 99,8-percentil for NO<sub>2</sub> er 200 µg/m<sup>3</sup> iht. EU. Den tillades overskredet 18 timer per kalenderår.

<sup>10</sup> De højest ønskelige 99-percentiler er for døgnmidler af PM<sub>2,5</sub> og NO<sub>2</sub> hhv. 15 og 25 µg/m<sup>3</sup> iht. WHO's retningslinjer. Hvis de respektive grænser overskrides 0 til 3 gange på et år er grænsen overholdt. Ved 4 overskridelser kan grænsen være overholdt eller overskredet, hvilket afhænger af niveauet for hhv. 4. og 5. højeste døgnmiddelværdier. Ved 5 eller flere overskridelser er grænsen ikke overholdt.

## 4 Måleresultater

### 4.1 NO<sub>2</sub>

De målte årsmiddelmålinger af NO<sub>2</sub> på de fem målestationer er præsenteret i Tabel 6. Der observeres forskellige niveauer af NO<sub>2</sub> mellem Backersvej (10 µg/m<sup>3</sup>), Krügersgade (12 µg/m<sup>3</sup>), Søtorvet (14 µg/m<sup>3</sup>) og Folehaven (16 µg/m<sup>3</sup>) samt Hillerødgade (16 µg/m<sup>3</sup>), hvilket til en vis grad afspejler forskellene i lokal trafikintensitet. Backersvej er den målestation, der eksponeres for den mindste trafikintensitet, mens der både på Hillerødgade og Folehaven er en relativt høj trafikintensitet. Der var også en forholdsvis høj trafikintensitet nær målestationen ved Søtorvet, men den var placeret i et åbent miljø mellem Nørre Søgade og Peblinge Sø, så der har forventeligt været en mere effektiv udskiftning af luftmasser relativt til Hillerødgade og Folehaven, der er placeret nærmere bygninger. Særligt ved sydvestlige over vestlige til nordlige vindretninger har de lokale trafikemissioner sandsynligvis i mindre grad påvirket de målte niveauer af NO<sub>2</sub> på Søtorvets målestation. De målte årsmiddelværdier af NO<sub>2</sub> afspejler således en kombination af de lokale trafikale emissioner samt de lokale omgivelser i kombination med de meteorologiske forhold.

EU's grænseværdi for årsmiddel NO<sub>2</sub> er på 40 µg/m<sup>3</sup>, og der målt i 2023 markant lavere niveauer (<17 µg/m<sup>3</sup>) på samtlige målestationer. WHO's retningslinje for årsmiddel NO<sub>2</sub> er på 10 µg/m<sup>3</sup>, hvilket netop blev overholdt ved målestationen på Backersvej i 2023 med en værdi på 9,9 µg/m<sup>3</sup>, mens retningslinjen blev overskredet på de fire andre målestationer.

I Tabel 6 præsenteres også 99,8 percentilen for timemiddelværdier af NO<sub>2</sub> i 2023. Der er tale om værdier, som kun overskrides 18 timer årligt, som er det højeste antal tilladelige overskridelser pr. år ifølge EU's grænseværdier. De koncentrationer repræsenterer altså sjældent forekommende og stærkt forhøjede niveauer af NO<sub>2</sub>. Niveauerne for 99,8 percentilen for timemiddelværdier af NO<sub>2</sub> spænder fra 59 µg/m<sup>3</sup> på Krügersgade over 62 µg/m<sup>3</sup> på Søtorvet/Backersvej til 73 µg/m<sup>3</sup> på Hillerødgade/Folehaven. Dermed afspejler forskellene i niveauet for stærkt forhøjede timemiddelværdier af NO<sub>2</sub> til en vis grad niveauet af den lokale trafikintensitet.

Tabel 6. Beregnede middelværdier og percentiler for NO<sub>2</sub> i 2023 på målestationerne i henhold til EU's grænseværdier samt WHO's retningslinjer.

Parameter	Grænseværdi			Målte middelværdier og percentiler 2023				
	Grænseværdi fra	µg/m <sup>3</sup>	Grænseværdi baseret på	Krügersgade	Søtorvet	Hillerødgade	Folehaven	Backersvej
				µg/m <sup>3</sup>				
NO <sub>2</sub>	EU	40	Årsmiddelværdi	12	14	16	16	10
NO <sub>2</sub>	WHO (vejledende)	10	Årsmiddelværdi	12	14	16	16	10
NO <sub>2</sub>	EU	200	99,8-percentil af timemiddelværdier over året <sup>11</sup>	59	62	73	73	62
NO <sub>2</sub>	WHO (vejledende)	25	99-percentil af døgnmiddelværdier over året <sup>12</sup>	31	32	39	40	28

<sup>11</sup> 99,8-percentilen defineret iht. EU's grænseværdi for timemiddelværdier for NO<sub>2</sub>. Den tillades overskredet for 18 timer på et år.

<sup>12</sup> 99-percentilen for døgnmiddel NO<sub>2</sub> ligger mellem den 5. og den 4. højeste døgnmiddelværdi for 2023.

I Tabel 6 præsenteres slutteligt 99-percentilen for døgnmiddel NO<sub>2</sub>. Her repræsenterer 99-percentilen niveauer, der kun blev overskredet for 4 døgn i løbet af 2023 på hver af målestationerne. Rangeringen fra de mindste værdier observeret på Backersvej (28 µg/m<sup>3</sup>) og Krügersgade (31 µg/m<sup>3</sup>) samt Søtorvet (32 µg/m<sup>3</sup>) til de højeste niveauer på Hillerødgade (39 µg/m<sup>3</sup>) og Folehaven (40 µg/m<sup>3</sup>) viser igen at den lokale trafikintensitet har stor betydning. WHO anbefaler at 99-percentilen for døgnmiddel NO<sub>2</sub> ikke overstiger 25 µg/m<sup>3</sup>. Den anbefaling blev ikke overholdt på nogen af målestationerne i 2023, men niveauet på Backersvej var ikke langt fra at overholde anbefalingen.

Årsmiddelværdierne for NO<sub>2</sub> målt fra 2020-2023 på de fem målestationer er præsenteret i Tabel 7. Det skal bemærkes, at der i 2020 kun blev målt i de sidste 3-4 måneder af året, så målingerne fra 2020 er ikke direkte sammenlignelige med de efterfølgende årsmiddelværdier. Det er muligt, at nedlukninger og øget hjemmearbejde under corona-epidemien kan have mindsket omfanget af den vejgående trafik nær målestationerne for dele af måleperioden 2020-2022, mens der i 2023 ikke har været tilsvarende nedlukninger. Ikke desto mindre observeres der fra 2021 til 2023 en mindskning i årsmiddelværdi af NO<sub>2</sub> på alle fem målestationer på ca. 10% til ca. 40%. De største reduktioner er blevet observeret for målestationerne omgivet af stor lokal trafikintensitet. Det er dermed meget sandsynligt, at en del af mindskningen i årsmiddel af NO<sub>2</sub> frem til 2023 skyldtes en reduktion i NO<sub>x</sub>-emissioner og sandsynligvis færre stærkt NO<sub>x</sub>-emitterende køretøjer på de Københavnske gader. Det kan forventes, at koncentrationen af NO<sub>2</sub> i trafikerede områder over de kommende år fortsat vil mindskes i København i takt med at udledninger fra den vejgående trafik mindskes.

Tabel 7. Årsgennemsnit for NO<sub>2</sub> fra 2020 til 2023 målt på de fem målestationer. Bemærk, at måleperioden i 2020 kun dækker de sidste 3 - 4 måneder, hvilket gør en direkte sammenligning med 2020 vanskelig.

NO <sub>2</sub>	Krügersgade	Søtorvet	Hillerødgade	Folehaven	Backersvej
	µg/m <sup>3</sup>				
2020	15	21	20	23	10
2021	17	18	22	27	11
2022	15	14	19	19	9
2023	12	14	16	16	10

Hvis WHO's retningslinje for årsmiddel NO<sub>2</sub> skal overholdes på alle målestationerne, vil en yderligere mindskning i koncentrationen være nødvendig på 4 af målestationerne. I Tabel 8 er de nødvendige procentuelle reduktioner præsenteret. På Krügersgade og Søtorvet er en reduktion på hhv. ca. 17% og 29% nødvendig, mens en reduktion på 38% var nødvendig på Hillerødgade og Folehaven, hvis WHO's retningslinje skal være overholdt.

Tabel 8. Påkrævet, procentuel reduktion af NO<sub>2</sub> i forhold til de målte 2023-koncentrationer, såfremt årsmiddelværdierne på de enkelte stationer skal leve op til WHO's retningslinje.

Parameter	Grænseværdi baseret på	Krügersgade	Søtorvet	Hillerødgade	Folehaven	Backersvej
		%				
NO <sub>2</sub>	Årsmiddelværdi	17%	29%	38%	38%	0%

Tidsserierne for døgnmiddel NO<sub>2</sub> er afbildet i Figur 2 for de fem målestationer. WHO's 99-percentil retningslinje på 25 µg/m<sup>3</sup> for døgnmiddel NO<sub>2</sub> er også inkluderet i Figur 2, og ifølge anbefalingen bør den højst overskrides 3-4 gange i løbet af et kalenderår. I Tabel 9 præsenteres antallet af overskridelser af retningslinjen på 25 µg/m<sup>3</sup> for de forskellige målestationer. I Figur 2,a+b kan det ses at døgnmiddel NO<sub>2</sub> på Krügersgade og Søtorvet sjældent markant oversteg 25 µg/m<sup>3</sup>, men særligt på Søtorvet forekom der en række døgnmiddelværdier meget nær 25 µg/m<sup>3</sup>. Totalt var der hhv. 12 og 20 døgn med døgnmiddel NO<sub>2</sub> overstigende 25 µg/m<sup>3</sup> for Krügersgade og Søtorvet (Tabel 9). Antallet af de døgn kan dog forventes at mindskes betydeligt ved en beskeden reduktion i NO<sub>2</sub>, da flere døgnmiddelværdier kun ligger en smule over 25 µg/m<sup>3</sup>.

I Figur 2,c+d kan et noget anderledes billede for Hillerødgade og Folehaven observeres. Der var døgnmiddelværdier for NO<sub>2</sub> nær 25 µg/m<sup>3</sup> almindeligt forekommende med adskillige døgnmiddelværdier markant overstigende 25 µg/m<sup>3</sup>. Det kan også ses af Tabel 9, at antallet af døgn med middelværdier overstigende 25 µg/m<sup>3</sup> er 37 og 53 for hhv. Hillerødgade og Folehaven. Altså kræves der nær de to målestationer mere udtalte reduktioner i NO<sub>2</sub> før end WHO's retningslinje for døgnmiddel NO<sub>2</sub> overholdes.

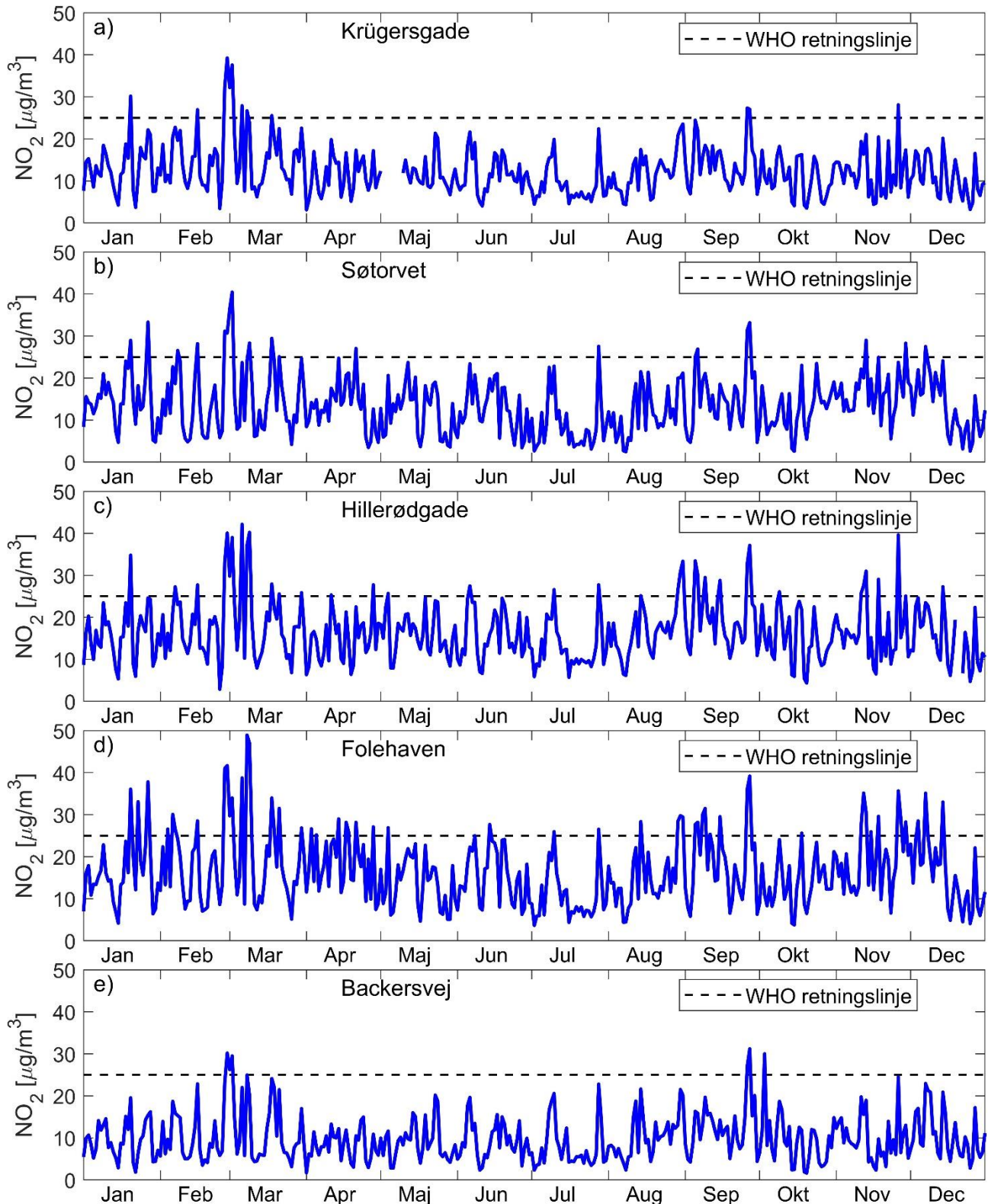
Tidsserien for døgnmiddel NO<sub>2</sub> på Backersvej er afbildet i Figur 2,e. Det kan ses, at værdierne oftest er væsentligt under 25 µg/m<sup>3</sup>, men at den grænse overskrides for 6 døgn i 2023 (Tabel 9). Overskridelserne forekommer omkring 1. marts og 1. oktober, hvor NO<sub>2</sub> koncentrationen samtidigt er forhøjet på samtlige målestationer. Så det er formentlig meteorologiske forhold fx indbefattende langtransport, der har forårsaget de få døgnmiddelværdier på over 25 µg/m<sup>3</sup> på Backersvej.

Tidsserierne for timemiddel NO<sub>2</sub> er vist i Figur 10 i Bilag C. EU har en percentil-grænseværdi for timemiddel NO<sub>2</sub> på 200 µg/m<sup>3</sup>, der højst bør overskrides 18 gange på et kalenderår. Den højeste timemiddelværdi var nær 161 µg/m<sup>3</sup>, og blev observeret på Folehaven i april. EU's grænseværdi for timemiddel NO<sub>2</sub> blev dermed ikke overskredet på nogen af målestationerne i 2023, hvilket også er tydeliggjort i Tabel 9.

Tabel 9. NO<sub>2</sub>: Antal tilladte samt overskredne døgnmiddelværdier på de enkelte målestationer i 2023. EU's grænseværdi for timemiddel blev ikke overskredet på nogen af målestationerne. WHO's retningslinje blev overskredet på samtlige målestationer. Overskridelserne udgjorde 1% – 14% af årets dage udover de maksimalt anbefalede 3-4 døgn på et år.

NO <sub>2</sub>		EU's grænseværdi (200 µg/m <sup>3</sup> , timemiddel)	WHO's vejledende grænseværdi (25 µg/m <sup>3</sup> , døgnmiddel)	Andel af døgn med overskridelser af WHO's vejledende grænseværdi
Antal tilladte værdier over grænseværdi		18	3-4	
Antal overskredne værdier	Krügersgade	0	12	2%
	Søtorvet	0	20	5%
	Hillerødgade	0	37	9%
	Folehaven	0	53	14%
	Backersvej	0	6	1%





Figur 2. Grafisk afbildning af døgnmiddelværdier for NO<sub>2</sub> i 2023. Den vandrette stiplede linje indikerer WHO's retningslinje for NO<sub>2</sub> døgnmiddel, hvilken anbefales overskredet højst 3-4 gange årligt. I Tabel 9 præsenteres antallene af overskridelser af retningslinjen. Gab i tidsserierne skyldes kalibrering, vedligeholdelse eller reparation af måleinstrumenter.

## 4.2 Partikulær masse, PM<sub>2,5</sub>

Målinger af PM<sub>2,5</sub> er blevet foretaget med en optisk metode, som også omfatter måling af PM<sub>10</sub>. I årsrapporterne for 2020 og 2021 er både PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> blevet afrapporteret. Nogle begrænsninger for målingerne af PM<sub>10</sub> er blevet identificeret og udbedret i løbet af 2023. Målingerne af PM<sub>10</sub> vil i 2024 undergå udvidede analyser med henblik på validering. PM<sub>10</sub> resultater for hele måleperioden forventes inkluderet med afrapporteringen for 2024. Målemetoden og sammenligninger med referencemetoden er beskrevet nærmere i Bilag A.

De målte årsmiddelkoncentrationer af PM<sub>2,5</sub> på de fem målestationer er præsenteret i Tabel 10. Et niveau på 6-8 µg/m<sup>3</sup> for årsmiddel PM<sub>2,5</sub> blev observeret på alle fem målestationer. De ensartede niveauer på målestationerne eksponeret for meget forskellig trafikintensitet afspejler at lokal trafik på årsbasis udgør en beskedne kilde til PM<sub>2,5</sub> i store dele af København. Det fremgår af Tabel 10 at EU's grænseværdi for årsmiddel PM<sub>2,5</sub> på 25 µg/m<sup>3</sup> er overholdt på samtlige målestationer. Omvendt er WHO's retningslinje på 5 µg/m<sup>3</sup> ikke overholdt på nogen af målestationerne.

Tabel 10. Årsmiddel samt 99. percentilen for døgnmiddelværdier for PM<sub>2,5</sub> i 2023.

Parameter	Grænseværdi			Målte middelværdier og percentiler 2023				
	Grænseværdi fra	µg/m <sup>3</sup>	Grænseværdi baseret på	Krüegersgade	Søtorvet	Hillerødgade	Folehaven	Backersvej
				µg/m <sup>3</sup>				
PM <sub>2,5</sub>	EU	25	Årsmiddelværdi	7	7	8	7	6
PM <sub>2,5</sub>	WHO (vejl.)	5	Årsmiddelværdi	7	7	8	7	6
PM <sub>2,5</sub>	WHO (vejl.)	15	Højest vejledende døgnmiddel (99-percentil af døgnmiddelværdier over året) <sup>13</sup>	25	26	27	25	21

I Tabel 11 præsenteres årsmiddel PM<sub>2,5</sub> for årene 2020-2023, hvor det skal bemærkes, at tallene for 2020 alene repræsenterer omtrent det sidste kvartal af året. Fra 2021 til 2023 observeres gennemgående en fallende tendens i årsmiddel PM<sub>2,5</sub> på alle 5 målestationer. Det fremgår af Tabel 12, at årsmiddel PM<sub>2,5</sub> for 2023 bør reduceres med mellem 21% og 37%, for at WHO's retningslinje er overholdt.

Tabel 11. Årsgennemsnit for PM<sub>2,5</sub> målt på de fem målestationer for 2020 til 2023. Bemærk, at måleperioden i 2020 kun dækker årets fjerde kvartal.

PM <sub>2,5</sub>	Krüegersgade	Søtorvet	Hillerødgade	Folehaven	Backersvej
	µg/m <sup>3</sup>				
2020	13	13	13	13	11
2021	9	10	10	10	9
2022	9	8	9	9	8
2023	7	7	8	7	6

<sup>13</sup> 99-percentil for PM<sub>2,5</sub> repræsenterer et niveau mellem den 5. og 4. højeste døgnmiddelværdi for 2023.

Tabel 12. Påkrævet, procentuel reduktion af luftens koncentrationer af PM<sub>2,5</sub> i forhold til de målte 2023-koncentrationer, såfremt årsmiddelværdierne på de enkelte stationer skal leve op til WHO's retningslinje.

Parameter	Retningslinje baseret på	Krügersgade	Søtorvet	Hillerødgade	Folehaven	Backersvej
		%				
PM <sub>2,5</sub>	Årsmiddelværdi	26%	32%	37%	33%	21%

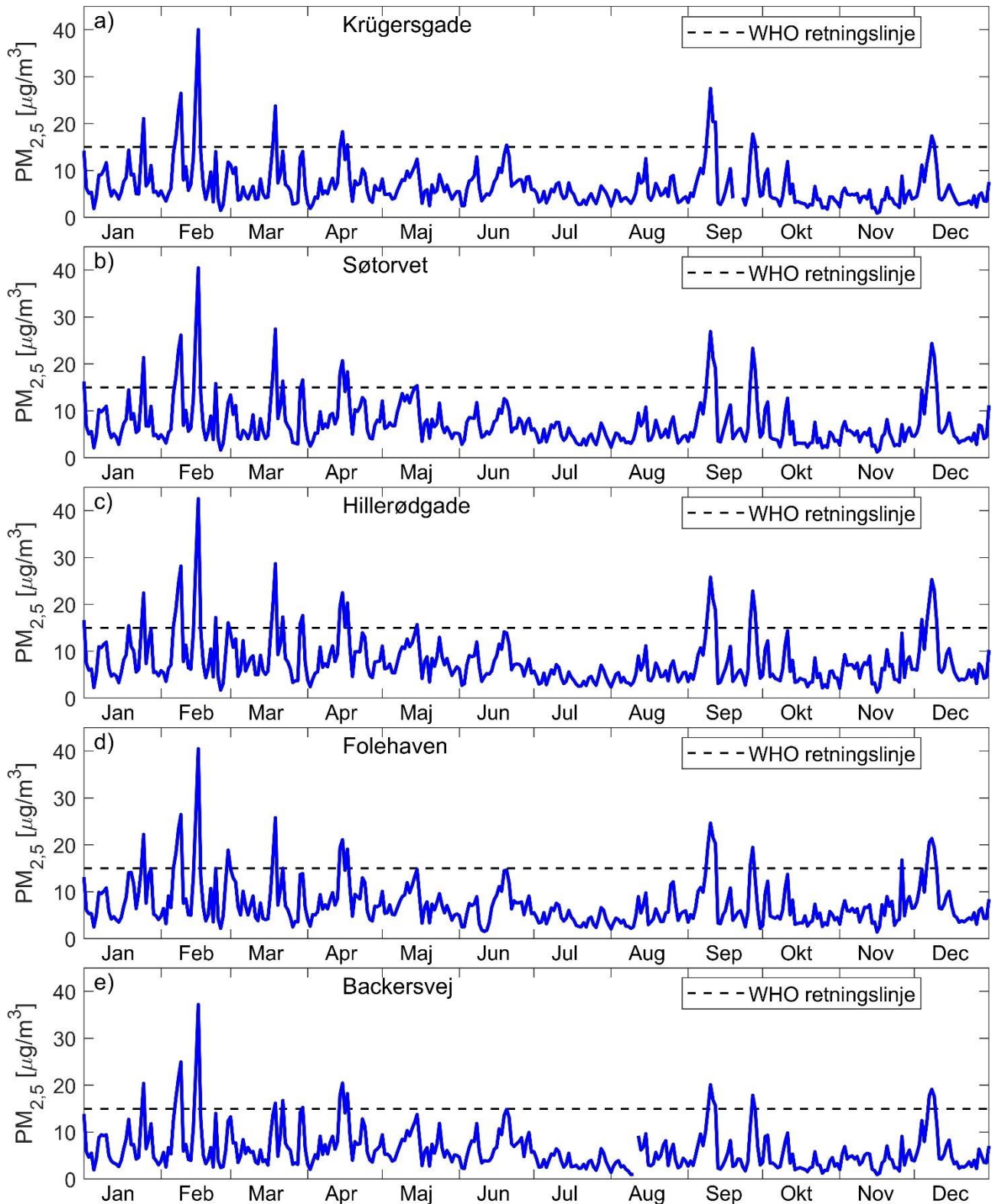
I Figur 3 præsenteres tidsserierne for døgnmiddel PM<sub>2,5</sub> i 2023. Der kan observeres en høj korrelation mellem de 5 tidsserier, hvilket afspejler at langtransport af PM<sub>2,5</sub> ofte er dominerende i forhold til lokale kilder. I Figur 3 er WHO's retningslinje for døgnmiddel PM<sub>2,5</sub> på 15 µg/m<sup>3</sup> inkluderet til sammenligning. Det niveau anbefales højst overskredet 3-4 gange årligt. Det kan ses af Figur 3, at niveauet på 15 µg/m<sup>3</sup> blev overskredet et betydeligt antal gange på alle målestationer i 2023. Overskridelserne forekom hyppigst og med de højeste værdier i vinterhalvåret og i brændeovnsæsonen.

WHO's retningslinje for døgnmiddel PM<sub>2,5</sub> på 15 µg/m<sup>3</sup> er en 99-percentil. Det niveau anbefales dermed højst overskredet 3-4 gange per år. De faktisk udregnede 99-percentiler for døgnmiddel PM<sub>2,5</sub> er præsenteret i den nederste del af Tabel 10. Værdierne for 99-percentilen varierer fra 21 til 27 µg/m<sup>3</sup>, hvilket er noget over WHO's anbefaling. Det kan af Tabel 13 ses, at døgnmiddel for PM<sub>2,5</sub> overskred niveauet på 15 µg/m<sup>3</sup> 19 til 34 gange på de forskellige målestationer i løbet af 2023.

Det kan opsummeres, at EU's grænseværdi for årsmiddel PM<sub>2,5</sub> blev overholdt i 2023. Hvad angår WHO's retningslinjer, så er det både nødvendigt at reducere årsmiddel PM<sub>2,5</sub> samt omfanget af døgn, hvor forhøjede niveauer af PM<sub>2,5</sub> forekommer (større end 15 µg/m<sup>3</sup>). Der kan dog siden 2021 konstateres en nedadgående trend for såvel årsmiddel PM<sub>2,5</sub> som omfanget af perioder med stærkt forhøjede niveauer af PM<sub>2,5</sub> på alle fem målelokationer.

Tabel 13. PM<sub>2,5</sub>: Antal tilladte samt overskredne døgnmiddel percentilværdier på de enkelte målestationer i 2023. WHO's retningslinje for den 99. percentil på højst 15 µg/m<sup>3</sup> overskrides 4 – 9% af årets døgn udover de maksimalt anbefalede 3-4 døgn på et år. EU har ikke en grænseværdi relateret til døgnmiddel PM<sub>2,5</sub>.

PM <sub>2,5</sub>		EU's grænseværdi	WHO's vejledende grænseværdi (15 µg/m <sup>3</sup> , døgnmiddel)	Andel af døgn med overskridelser af WHO's vejledende grænseværdi
Antal tilladte værdier over grænseværdi		Ikke fastsat	3-4	
Antal overskredne værdier	Krügersgade	-	20	5%
	Søtorvet	-	27	7%
	Hillerødgade	-	34	9%
	Folehaven	-	25	6%
	Backersvej	-	19	4%



Figur 3. Døgnmiddelværdier for PM<sub>2,5</sub>. Den vandrette stiplede linje indikerer WHO's retningslinje for PM<sub>2,5</sub> døgnmiddel, hvilken anbefales overskredet højst 3-4 døgn årligt. I Tabel 13 præsenteres antallene af overskridelser af retningslinjen. Gab i tidsserierne skyldes kalibrering, vedligeholdelse eller reparation af måleinstrumenter.

### 4.3 Partikelantal, PN<sup>14</sup>

Årsmiddel af partikelantalskoncentrationer er præsenteret i Tabel 14 for årene 2020 til 2023. Igen skal det pointeres at en direkte sammenligning mellem 2020 og andre år ikke er mulig, da målingerne kun dækker de sidste 3-4 måneder af 2020. For middelværdier af PN fra 2020, 2021 og 2023 observeredes de højeste koncentrationer på Folehaven efterfulgt af Hillerødgade, hvilket indikerer at emissioner fra lokal trafik har spillet en rolle i den sammenhæng. Billedet for 2022 forekom anderledes ved sammenligning mellem målestationerne, og det er ikke klart hvad årsagen dertil har været. Hvad angår værdierne fra 2023, så er det bemærkelsesværdigt at årsmiddelværdien for PN på Backersvej (6200 #/cm<sup>3</sup>) ligger højere end på Krügersgade (5600 #/cm<sup>3</sup>) og Søtorvet (5900 #/cm<sup>3</sup>). En mere dybdegående analyse af episoder med forhøjede niveauer af PN præsenteres i afsnit 5.3 nedenfor.

Tidsserierne for døgnmiddel partikelantalskoncentrationer kan ses i Figur 4. Der forekommer en betydelig korrelation mellem tidsserierne, hvor tidsserien for Backersvej er den som afviger mest fra de andre. En nærmere analyse af perioder med forhøjede niveauer af PN præsenteres i afsnit 5.3.

Tabel 14. Årsgennemsnit for PN for 2020 til 2023. Måleperioden i 2020 dækker kun det sidste kvartal. Det målte partikelantal gælder for partikler i størrelsesområdet 7-1000 nm.

PN	Krügersgade	Søtorvet	Hillerød-gade	Folehaven	Backersvej
	antal/cm <sup>3</sup>				
2020	5400	5600	6300	7400	5300
2021	6200	6400	7000	7600	5600
2022	7100	6300	6800	6000	7000
2023	5600	5900	6300	7100	6200

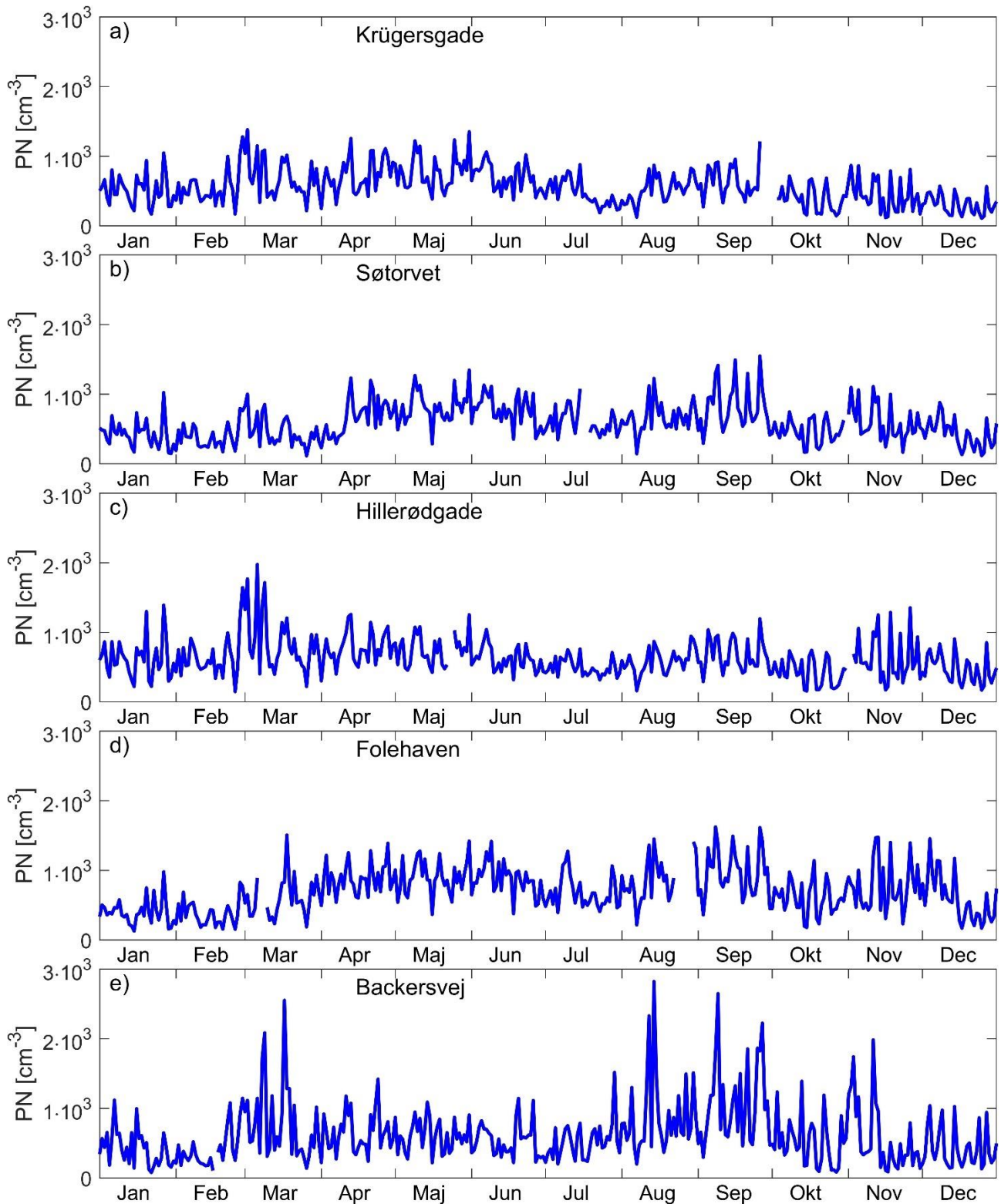
Der findes ikke grænseværdier eller klare retningslinjer for acceptable niveauer af PN. WHO beskriver dog, at døgnmiddelværdier overstigende 10.000 cm<sup>-3</sup> og timemiddelværdier overstigende 20.000 cm<sup>-3</sup> kan betragtes som høje<sup>15</sup>. I Tabel 15 er antallet af døgnmiddelværdier overstigende 10.000 cm<sup>-3</sup> opgjort til at være fra 22 til 63 i løbet af 2023. Det højeste antal af forhøjede døgnmiddelværdier af PN blev i 2023 fundet på Folehaven (63), mens næstflest blev observeret på Backersvej (53). På Krügersgade (22), Søtorvet (30) og Hillerødgade (28) observeredes et mere moderat antal døgn med forhøjede PN-niveauer. En nærmere analyse af episoder med forhøjede PN præsenteres i afsnit 5.3 nedenfor.

Tabel 15. Døgn med forhøjede middelværdier af partikelantalskoncentration (PN) for 2023.

Parameter	Parameter	Krügersgade	Søtorvet	Hillerødgade	Folehaven	Backersvej
PN	Antal døgnmiddelværdier overstigende 10000 cm <sup>-3</sup>	22	30	28	63	53
PN	Måledøgn	359	361	361	355	364
Andel	Døgn m. forhøjet PN	6%	8%	8%	18%	15%

<sup>14</sup> Ikke omfattet af akkreditering 51.

<sup>15</sup> WHO: WHO global air quality guidelines, 2021.



Figur 4. Døgnmiddelværdier for partikelantalskoncentrationer (PN). PN kan betragtes som indikator for koncentrationen af ultrafine partikler (UFP). Gab i tidsserierne skyldes kalibrering, vedligeholdelse eller reparation af måleinstrumenter.

#### 4.4 Black Carbon, BC<sup>16</sup>

Koncentrationen af Black Carbon kan betragtes som et mål for sodpartikler. Black Carbon måles på Folehaven og Backersvej, men ikke på de resterende 3 målestationer. Den andel af Black Carbon, som kan tilskrives emissioner fra forbrænding af fossile brændsler (herunder fra trafikken), benævnes BC<sub>FF</sub>. Den andel af Black Carbon, der kan tilskrives afbrænding af biomasse benævnes BC<sub>WB</sub>. I Tabel 16 præsenteres årsmiddelværdier for BC, BC<sub>FF</sub> og BC<sub>WB</sub>. Årsmiddel for BC er større på Folehaven (0,67 µg/m<sup>3</sup>) end på Backersvej (0,44 µg/m<sup>3</sup>). Denne forskel kan hovedsageligt tilskrives forskellige niveauer af BC fra trafik, da årsmiddel for BC<sub>FF</sub> antog værdien 0,43 µg/m<sup>3</sup> på Folehaven og 0,27 µg/m<sup>3</sup> på Backersvej. Niveaulet for årsmiddel BC<sub>WB</sub> var mere sammenlignelige mellem Folehaven (0,24 µg/m<sup>3</sup>) og Backersvej (0,17 µg/m<sup>3</sup>). Det forekommer altså sandsynligt, at forskellen i BC mellem de to målestationer i høj grad kan tilskrives forskelle i lokale BC-emissioner fra vejgående trafik, der forventeligt spiller en relativt større rolle på Folehaven.

Tabel 16. Årsmiddelværdier i 2023 for BC samt BC der estimeres relateret til afbrænding af hhv. biomasse (BC<sub>WB</sub>) og fossile brændsler (BC<sub>FF</sub>). BC måles på Folehaven og Backersvej men ikke på de resterende tre målestationer.

Parameter	Periode	Folehaven	Backersvej
		µg/m <sup>3</sup>	
BC	Målt årsmiddelværdi	0,67	0,44
BC <sub>WB</sub>	Målt årsmiddelværdi	0,24	0,17
BC <sub>FF</sub>	Målt årsmiddelværdi	0,43	0,27

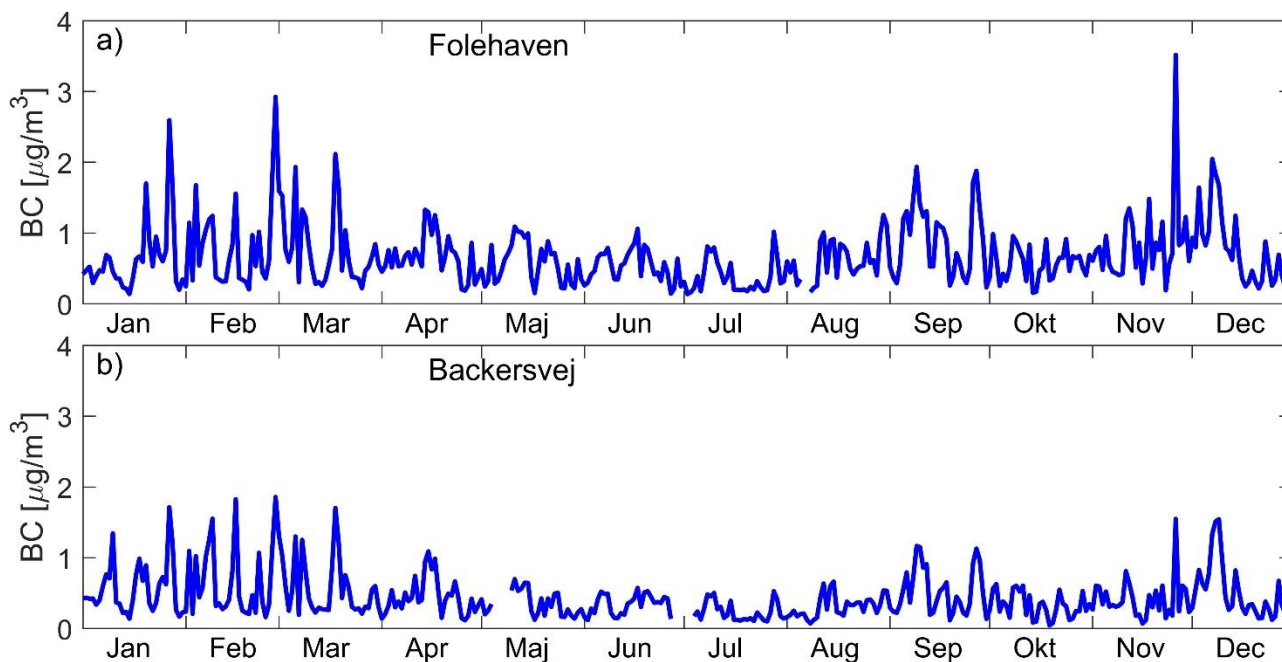
I Tabel 17 præsenteres årsmiddel for BC for perioden 2020 til 2023, hvor tallene for 2020 dog kun repræsenterer årets sidste 3-4 måneder. Dermed kan tallene fra 2020 ikke sammenlignes direkte med årsmiddel for andre år. Der forekommer fra 2021 til 2023 en reduktion i årsmiddel BC både på Folehaven og på Backersvej. Reduktionen er mest udtalt på Folehaven og det forekommer sandsynligt at lokale emissioner af BC fra vejgående trafik mindskedes betydeligt i perioden – til dels via gradvis fornyelse af bilparken og til dels via indførslen af udvidede miljøzoner i København, på Frederiksberg samt i flere andre danske byer i efteråret 2023.

Tabel 17. Årsgennemsnit for BC målt på Folehaven og Backersvej fra 2020 til 2023. Bemærk, at måleperioden i 2020 kun dækker de sidste 3 - 4 måneder, hvilket gør en direkte sammenligning vanskelig. Årsgennemsnittet for Folehaven i 2022 er baseret på modelresultater for 4. kvartal og målinger resten af 2022.

BC	Krügersgade	Søtorvet	Hillerødgade	Folehaven	Backersvej
	µg/m <sup>3</sup>				
2020	-	-	-	1,4	0,7
2021	-	-	-	1,1	0,5
2022	-	-	-	0,9	0,5
2023	-	-	-	0,7	0,4

<sup>16</sup> Ikke omfattet af akkreditering 51.

I Figur 5 præsenteres tidsserierne for døgnmiddel BC mens kvartalsmiddel for BC, BC<sub>FF</sub> og BC<sub>WB</sub> præsenteres i Tabel 18. Det kan af Figur 5 ses, at der er en betydelig korrelation mellem BC målt på Folehaven og Backersvej. Det er der formentlig flere årsager til. Når langtransport af BC til København er markant, så vil BC samtidig være forhøjet på begge målestationer. Ydermere må de lokale/regionale emissioner fra brændeovne forventes at være højest i kolde perioder, hvilket bør påvirke niveauet af BC på begge målestationer. Det kan også ses af Figur 5, at de forhøjede døgnmiddelværdier for BC forekommer i vinterhalvåret og brændeovnsæsonen på begge målestationer.



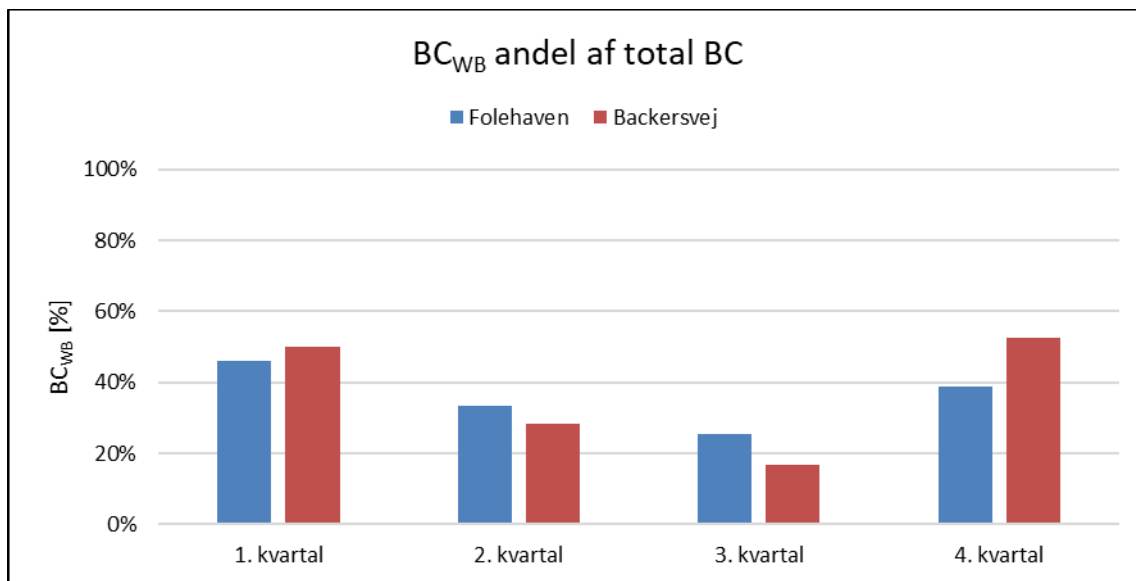
Figur 5. Døgnmiddelværdier for Black Carbon (BC) på Folehaven og Backersvej i 2023. Gab i tidsserierne skyldes kalibrering, vedligeholdelse eller reparation af måleinstrumenter.

BC fra brændeovne bør bidrage til BC<sub>WB</sub>, og det må forventes at de lokale emissioner typisk vil være højest når temperaturerne er lave i løbet af vinterhalvåret. Det understøttes af kvartalsgennemsnittene i Tabel 18. Der er en markant årstidsvariation i BC<sub>WB</sub> med de højeste koncentrationer i vinterhalvåret på begge målestationer. Årstidsvariationen for BC<sub>WB</sub> ses også tydeligt i den kvartalsvise andel af BC<sub>WB</sub> i forhold til BC, hvilken er præsenteret i Figur 6. På Backersvej udgør BC<sub>WB</sub> i fyringssæsonen i 1. og 4. kvartal omkring 50% af BC, mens betydeligt lavere forhold mellem BC<sub>WB</sub> og BC blev observeret i sommerhalvåret.

Tabel 18. Gennemsnitlige koncentrationer af BC, BC<sub>WB</sub> og BC<sub>FF</sub> for kvartaler fra henholdsvis Folehaven og Backersvej i 2023.

	Folehaven			Backersvej		
	µg/m <sup>3</sup>			µg/m <sup>3</sup>		
2023	BC	BC <sub>WB</sub>	BC <sub>FF</sub>	BC	BC <sub>WB</sub>	BC <sub>FF</sub>
1. kvartal	0,74	0,34	0,39	0,60	0,30	0,30
2. kvartal	0,60	0,20	0,40	0,39	0,11	0,28
3. kvartal	0,63	0,16	0,47	0,36	0,06	0,30
4. kvartal	0,72	0,28	0,44	0,42	0,22	0,20





Figur 6. Kvartalsvis fordeling af forholdet mellem Black Carbon forbundet med afbrænding af biomasse (BC<sub>WB</sub>) og total Black Carbon (BC), målt på Folehaven og Backersvej i 2023.

## 5 Variationer i luftkvalitet<sup>17</sup>

### 5.1 Luftkvaliteten på hverdage

I Figur 7 præsenteres timemiddelværdier for NO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PN og BC som gennemsnit for ugedagene mandag til og med fredag. Trafikintensiteten nær målestationerne forventes at være højest i morgenmyldretiden omkring kl. 7-9 og igen i eftermiddagsmyldretiden omkring kl. 15-18 på hverdage. Der kan observeres et maksimum i koncentrationen for NO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PN og BC på samtlige målestationer omkring kl. 7 om morgenen på hverdage, hvilket indikerer at morgentrafikken påvirker alle fire luftkvalitetsparametre. For NO<sub>2</sub> ses de højeste morgenkoncentrationer på Folehaven og Hillerødgade, der forventes at blive eksponeret for relativt højere trafikintensitet. De laveste morgenkoncentrationer af NO<sub>2</sub> observeres på Backersvej.

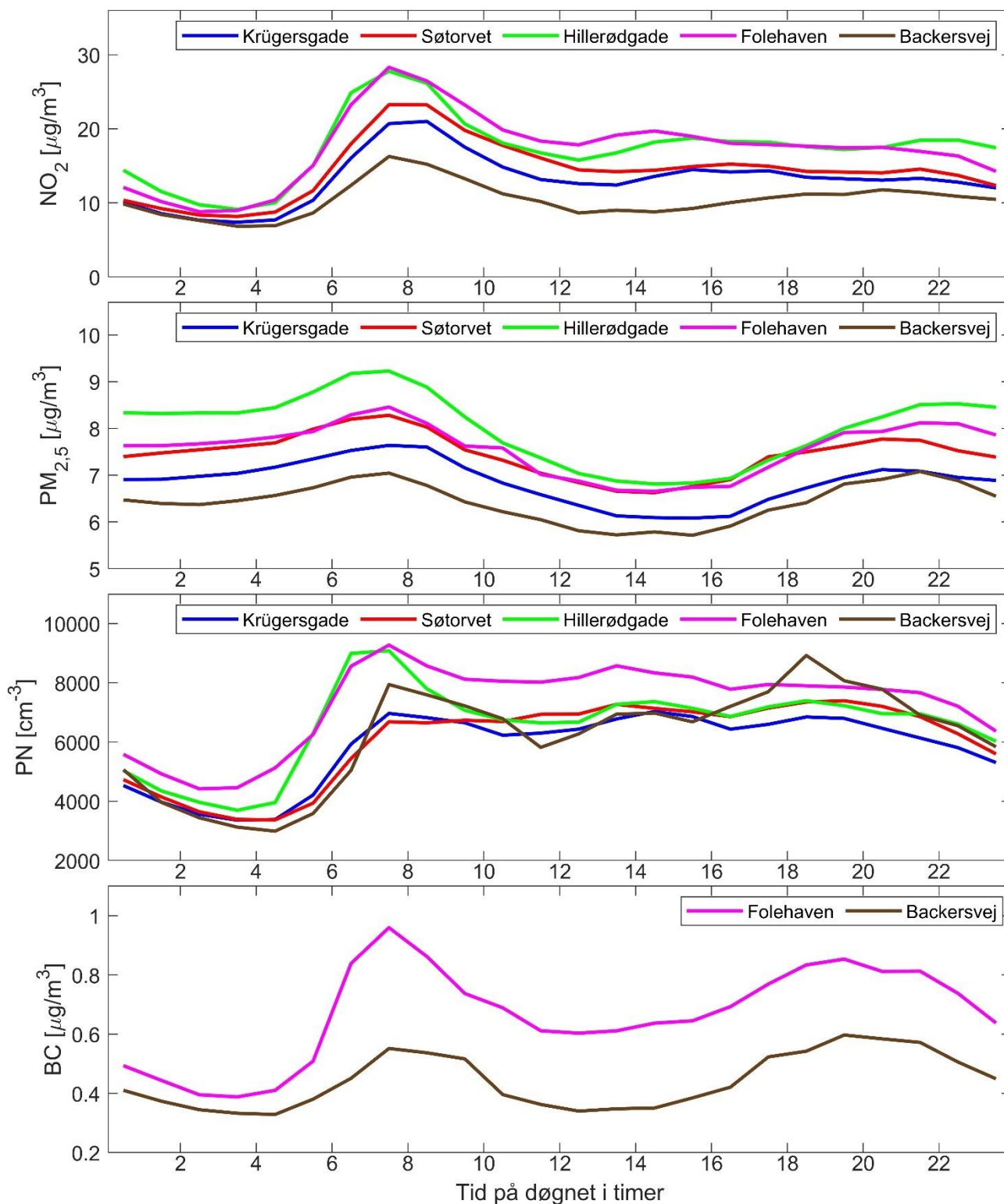
Forskellene i PM<sub>2,5</sub> koncentrationerne på hverdagsmorgener er relativt mindre mellem målestationerne, end hvad der observeres for NO<sub>2</sub>. Der ses dog de højeste PM<sub>2,5</sub> koncentrationer på Hillerødgade efterfulgt af Folehaven med den laveste gennemsnitskoncentration på Backersvej. Hvis forskellene kan tilskrives forskelle i den lokale trafikintensitet, så medfører det forskelle i koncentrationen af PM<sub>2,5</sub> i omegnen af 1-2 µg/m<sup>3</sup> på hverdagsmorgener mellem mindre trafikerede og mere trafikerede områder. Der skal dog tages forbehold for at de lokale forhold ved målestationerne ikke er identiske hvad angår afstand til kørebanen eller de lokale omgivelser og deres betydning for luftudskiftning.

Partikelantalskoncentrationen udviser også forhøjede værdier på hverdagsmorgener, hvor de højeste værdier observeredes på Hillerødgade og Folehaven, hvilket indikerer at lokal vejgående trafik kan udgøre en betydelig kilde til PN. Det er bemærkelsesværdigt, at de højeste gennemsnitsværdier i tidsrummet kl. 18-20 blev observeret på Backersvej. En nærmere analyse af episoder med forhøjede niveauer af PN præsenteres i afsnit 5.3. Der observeres forhøjede BC-koncentrationer på hverdagsmorgener både på Folehaven og Backersvej med markant højere koncentrationer på Folehaven. Dette indikerer, at den lokale vejgående trafik signifikant kan øge koncentrationen af BC.

Der kan overordnet observeres markante koblinger til den lokale trafikintensitet for NO<sub>2</sub>, PN og BC, og mere beskedne koblinger til den lokale trafikintensitet for PM<sub>2,5</sub> for hverdagsmorgener. Der fremstår ikke på samme måde veldefinerede maksima i koncentrationerne omkring den forventede eftermiddagsmyldretid. Rangordningen i koncentrationerne mellem målestationerne afspejler dog at den lokale trafikintensitet har betydning for koncentrationerne af NO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PN og BC på hverdageeftermiddage. Udeblivelsen af en tydelig korrelation med eftermiddagsmyldretrafikken kan formentlig tilskrives to faktorer: (i) at eftermiddagsmyldretidstrafikken ofte er fordelt over et længere tidsrum end morgenmyldretidstrafikken, og (ii) dynamik omkring det atmosfæriske grænselag. Det atmosfæriske grænselag udgør typisk de nederste 50 til 3000 meter af atmosfæren. Grænselaget er karakteriseret ved turbulens og mixning af luftmasserne – og intensiteten af turbulensen og højden af grænselaget øges med øget vindhastighed og typisk også med øget solindstråling. Derfor er grænselaget typisk højere om dagen i forhold til om natten, ligesom grænselaget typisk er højere om sommeren i forhold til om vinteren. Når det atmosfæriske grænselag er højt, så vil luftforurening udsendt nær jordoverfladen effektivt blive transporteret opad i grænselaget. Omvendt kan et lavt atmosfærisk grænselag medføre at luftforurening udsendt nær jordoverfladen forbliver og opkoncentreres nær jordoverfladen. Med andre ord kan det forventes, at relativt højere koncentrationer af luftforurening i gennemsnit observeres om morgenen, når det atmosfæriske grænselag er relativt lavt. Omvendt bør et relativt højere grænselag midt på dagen og om eftermiddagen medføre relativt lavere luftforureningskoncentrationer, hvis det antages at emissionerne er sammenlignelige for morgener og eftermiddage. Koncentrationerne

<sup>17</sup> Målinger af PN og BC samt vurderinger i dette afsnit er ikke omfattet af akkreditering 51.

præsenteret i Figur 7 illustrerer dermed bl.a. de kombinerede effekter af (i) omfanget af lokale emissioner, og (ii) meteorologi og grænselagsdynamik/højden af det atmosfæriske grænselag.



Figur 7. Gennemsnitlige timemiddelværdier for hhv. NO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PN og BC på dagene mandag til og med fredag i 2023.

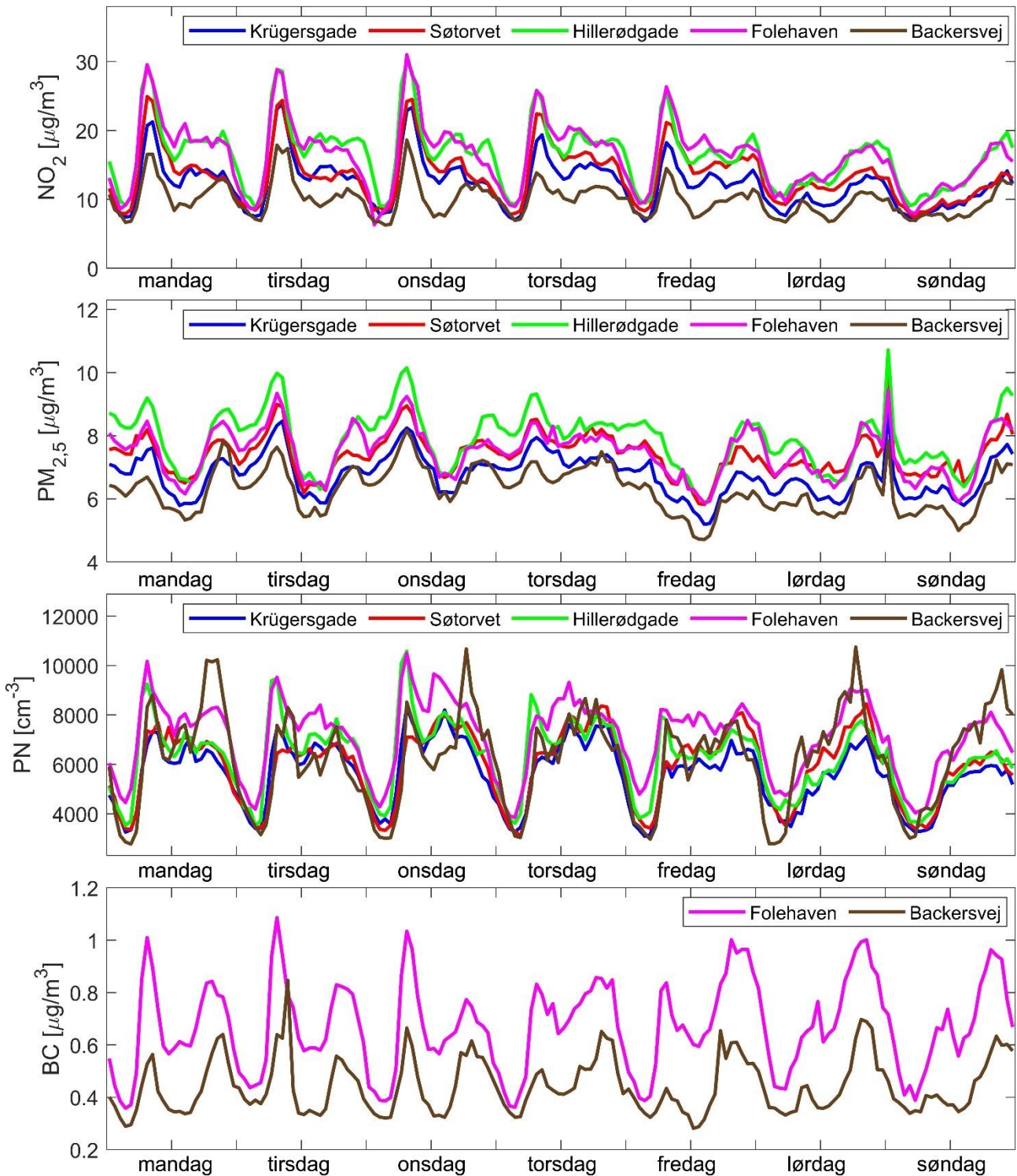
## 5.2 Sammenstilling af døgnvariationer

I Figur 8 præsenteres gennemsnitskoncentrationer for hver af døgnets timer for NO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PN og BC fordelt på ugedage i 2023. For NO<sub>2</sub> ses en markant forskel mellem hverdage og weekend, hvilket er mest udtalt omkring kl. 6-9 om morgenen. De største forskelle mellem hverdag og weekend ses for Folehaven og Hille-rødgade, hvor myldretidstrafikken forventes at have den relativt største intensitet på hverdage. På Backersvej er forskellen mellem hverdag og weekend mere beskeden. Generelt er forskellene mellem hverdag og weekend mindre udtalt på eftermiddage, hvilket kan skyldes, (i) at forskellene i trafikintensitet ikke er så udtalt for den del af dagen, og/eller (ii) at relativt højere grænselag på eftermiddage medfører relativt større 'fortynding' af de lokale emissioner. Billedet for NO<sub>2</sub> er altså konsistent i forhold til en stærk kobling til den lokale trafikintensitet.

For PM<sub>2,5</sub> ses i Figur 8 betydelig mindre variabilitet både mellem ugedage for en given lokation, og mellem målestationer i forhold til fx NO<sub>2</sub>. Denne observation er et resultat af, at den lokale trafikintensitet i mindre grad end for NO<sub>2</sub> bidrager til PM<sub>2,5</sub>. Langtransport er mere styrende for niveauet af PM<sub>2,5</sub> i København. De markante spidser, der for alle målestationer kan observeres omkring midnat mellem lørdag og søndag skyldes nytårsaftnen. Affyringen af nytårskrudt ved årsskiftet medfører typisk årets højeste niveauer af PM<sub>2,5</sub>, hvilket tydeligt kan ses for timemiddelværdierne præsenteret i Figur 11 (se forhøjede niveauer for PM<sub>2,5</sub> de første timer af d. 1. jan. nær Y-aksen).

For partikelantalskoncentrationen, PN, kan observeres markante forskelle mellem hverdage og weekend i Figur 8. Det gælder særligt de markante spidser på hverdage omkring kl. 6-9, der ikke optræder i weekenden. De forhøjede niveauer af PN på hverdagsmorgener er sandsynligvis stærkt koblet til trafikintensitet. Det er bemærkelsesværdigt, at de højeste niveauer af PN i gennemsnit blev observeret på Backersvej på eftermiddage/aftener såvel på nogle hverdage som i weekenden. En nærmere analyse af episoder med forhøjede niveauer af PN præsenteres nedenfor i afsnit 5.3.

For Black Carbon ses i Figur 8 også om morgenen markante forskelle mellem hverdag og weekend – hvilket er betydeligt mere udtalt på Folehaven i forhold til Backersvej. Denne observation understøtter at den lokale trafikintensitet kan have stor betydning for niveauet af Black Carbon.



Figur 8. Gennemsnitlige timemiddelværdier for hhv. NO<sub>2</sub>, partikulær masse for partikler med diametre mindre end 2,5  $\mu\text{m}$  (PM<sub>2,5</sub>), partikelantalskoncentration (PN) og Black Carbon (BC) fordelt på ugedage.

### 5.3 Episoder med forhøjede niveauer af PN

Det er beskrevet ovenfor, at der forekommer at være klare sammenhænge mellem niveauer af PN og trafikintensitet hvad angår målestationer som Folehaven, Hillerødgade og Søtorvet. Det er ikke på samme måde klart, hvorfor relativt høje niveauer af PN med mellemrum blev målt på Backersvej. Det kan af Figur 4 tydeligt ses, at mange af de højeste døgnmiddelværdier for PN i 2023 blandt alle fem målestationer blev observeret på Backersvej. Der er som nævnt ovenfor ingen grænseværdier eller retningslinjer for koncentrationen af PN, men WHO har foreslået at timemiddelværdier overstigende 20.000 partikler/cm<sup>3</sup> vil kunne betragtes som et højt niveau<sup>18</sup>. I Tabel 19 vises antallet af timer med PN-middelværdier overstigende 20.000 partikler/cm<sup>3</sup>. Det fremgår, at der på Backersvej blev observeret forhøjede niveauer af PN i 438 timer, mens det næsthøjeste antal blev observeret på Folehaven med 194 timer. I Figur 12 i Bilag C nedenfor præsenteres timemiddelværdier for PN, hvor det tydeligt kan ses, at der forekom et betydeligt antal timer med PN middelværdier overstigende 50.000 partikler/cm<sup>3</sup> på Backersvej, mens sådanne niveauer var sjældne eller fraværende ved de andre fire målestationer i 2023. I denne sammenhæng omtales PN time-middelværdier overstigende 50.000 partikler/cm<sup>3</sup> derfor som værende *stærkt forhøjede*.

Tabel 19. Antal timer med PN-middelværdier overstigende 20.000 partikler/cm<sup>3</sup> på de fem målestationer i 2023. Antallet af måletimer for PN og andel af timer med høje PN niveauer vises også.

Parameter	Parameter	Krügersgade	Søtorvet	Hillerødgade	Folehaven	Backersvej
PN	Antal timemiddelværdier overstigende 20000 cm <sup>-3</sup>	77	93	154	194	438
PN	Måletimer	8633	8681	8704	8557	8737
Andel	Timer m. forhøjet PN	1%	1%	2%	2%	5%

I Figur 9 præsenteres punkter for alle PN-timemiddelværdier overstigende 20.000 partikler/cm<sup>3</sup> som funktion af den lokale vindretning i København. Timemiddelværdier for vindretning er baseret på data fra DMI. Af Figur 9 fremgår det, at der særligt for Backersvej er en meget tydelig sammenhæng mellem vindretning og forhøjede niveauer af PN. På Backersvej er samtlige timer med stærkt forhøjede niveauer af PN (>50.000 partikler/cm<sup>3</sup>) koblet til vindretninger fra syd-sydøst. Det er ikke muligt at se hvert individuelt målepunkt i Figur 9, men i Tabel 19 vises antallet af inkluderede punkter for hver målestation. For Backersvej var 395 af 438 timer med forhøjede niveauer af PN forbundet med vindretninger mellem 120° og 195°, altså sydøstlige og sydlige vindretninger. Københavns Lufthavn er lokaliseret i netop den vindsektor i forhold til målestationen på Backersvej. Derfor forekommer det meget sandsynligt, at emissioner fra Lufthavnen kan medvirke til forhøjede niveauer af PN på Backersvej.

Det er velkendt, at flymotorer kan være meget betydelige kilder til små, ultrafine partikler<sup>19</sup>. Den viden - samt de præsenterede måleresultater for timemiddel-PN - understøtter, at Lufthavnen højst sandsynligt bidrog i væsentligt omfang til de forhøjede niveauer af ultrafine partikler, der med mellemrum blev observeret på Backersvej i 2023. Det kan dog på baggrund af nærværende analyse ikke udelukkes, at andre kilder eller kildeområder fx i samme vindsektor nær målestationen også kan have været medvirkende faktorer. En kvantificering af PN bidraget fra Lufthavnen vil fx kunne udføres via samtidige målinger udført på flere lokationer i nærområdet i den relevante vindsektor i forhold til Backersvej. Sådanne studier er så vidt vides blevet udført af DCE i løbet af 2023, men resultaterne er pt. ikke gjort offentligt tilgængelige.

<sup>18</sup> WHO: WHO global air quality guidelines, 2021.

<sup>19</sup> Se fx Ungeheuer et al., Communications Earth and Environment 3(1), 319, 2022.



Figur 9. PM timemiddelværdier overstigende 20.000 partikler/cm<sup>3</sup> plottet som funktion af vindretning. Punkter nær linjen for 90° eller 180° indikerer at vinden kom fra hhv. øst eller syd. Punkter nær randen af figurerne repræsenterer en timemiddelkoncentration nær 100.000 partikler/cm<sup>3</sup>. Antallet af inkluderede time-middelværdier for hver målestation kan ses i Tabel 19.

## Bilag A Målemetoder

### NO<sub>x</sub> (NO og NO<sub>2</sub>)

NO<sub>2</sub>-koncentrationen bestemmes med en kemiluminiscens monitor (CLD) med indbygget konverter (NO<sub>2</sub> til NO). Måleværdien for NO<sub>2</sub> er differencen mellem de målte værdier for NO<sub>x</sub> og NO. Denne målemetode er referencemetoden til luftkvalitetsmålinger af NO<sub>x</sub> og NO, der anvendes til bestemmelse af NO<sub>2</sub>.

Målområde: 0 – 1000 ppb (parts per billion) .

Reference: EN 14211

### Partikulær masse (svævestøv), PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub>

PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> angiver massen af partikler, der har en aerodynamisk diameter, som er mindre end henholdsvis 2,5 µm og 10 µm. I dette måleprogram anvendes en optisk målemetode, hvor partikler eksponeres for laserlys i instrumentets målekammer. Når lyset rammer partiklerne i gasstrømmen, spredes lyset, og et sæt af detektorer måler intensiteten af lysspredningen. Intensiteten af det reflekterede lys er proportional med størrelsen på partiklerne, og antallet af lyspulser er en funktion af koncentrationen af partikler og flowet af gassen. På den måde kan lysspredningen omregnes til koncentration af partikler som funktion af både antal og størrelse. I udregningen til partikelmasse indgår nogle antagelser omkring de optiske egenskaber og massefylden for de målte partikler. Disse gennemsnitlige partikelegenskaber kan forventes at være forskellige i miljøer, hvor forskellige partikeltyper dominerer. Derfor er det almindeligt at sammenligne de optisk målte partikelmasser med en referencemetode. Derved kan der bestemmes en korrektionsfaktor til de optiske målinger således, at der opnås god overensstemmelse i forhold til referencemetoden. Den optiske måler er ved forskellige lejligheder blevet sammenlignet med referencemetoden efter EN12341.

#### **Særlige bemærkninger vedr. korrektionsfaktorer for PM<sub>2,5</sub> for den optiske målemetode**

Tidligere har der på de fem målestationer i Københavns Kommune været anvendt en korrektionsfaktor (K) på 0,91 til PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> data. Fra juni til august, 2022 blev der gennemført en ny række sammenlignende målinger på HC Andersens Boulevard (HCAB) i et samarbejde mellem FORCE Technology og Nationalt Center for Miljø og Energi (DCE), Aarhus Universitet. Der blev opnået 62 datapunkter for både PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub>. Korrektionsfaktoren præsenteret nedenfor er blevet anvendt til alle PM<sub>2,5</sub> data i nærværende rapport.

Ud fra de udførte sammenlignende målinger er de udledte korrektionsfaktorer (K) som følger:

- **For PM<sub>2,5</sub>:** K<sub>PM<sub>2,5</sub></sub> er bestemt til 0,99 med en usikkerhed på ± 4.0% på 95% konfidensniveau baseret på 62 målepunkter fra HCAB. *Korrektionsfaktoren på 0,99 for PM<sub>2,5</sub> er anvendt i denne rapport.*

Der er for PM<sub>10</sub>-målingerne blevet identificeret nogle målebegrænsninger, hvilke er blevet udbedret. I 2024 bliver der bestemt en ny korrektionsfaktor PM<sub>10</sub>-målinger, og alle udførte målinger af PM<sub>10</sub> vil blive nærmere analyseret. En samlet afrapportering af udførte PM<sub>10</sub>-målinger forventes med afrapporteringen for 2024.



## Partikelantal, PN

Der anvendes en Condensation Particle Counter (CPC) til at måle partikelantalskoncentrationer i den omgivende luft. Prøvegassen ledes gennem et kammer med mættede butanoldampe. Efterfølgende afkøles gassen i en kondensator, så den partikelholdige prøvegas overmættes med butanol. Dette får butanolen til at kondensere på partiklerne, så de vokser sig store nok til, at de kan detekteres optisk. En CPC kan måle partikler større end en bestemt cut-off størrelse, som bl.a. er en funktion af den overmætning, der opnås i kondensatorafsnittet for en given CPC. Målingerne af PN er ikke omfattet af akkreditering 51.

Måleområde (partikelstørrelse): 7 - 1000 nm

Måleområde (partikelantal): op til  $10^7$  antal/cm<sup>3</sup>

## Black Carbon, BC

En kendt gasstrøm passerer gennem et aethalometer, hvori partiklerne deponeres på et filter. En lyskilde med tilførende sensorer måler, hvor meget lyset ved en række specifikke bølgelængder dæmpes over filteret. Lysdæmpningen er proportional med koncentrationen af lysabsorberende stof i den opsamlede luftstrøm. Ud fra den målte lysdæmpning foretages en beregning af den gennemsnitlige koncentration af absorberende partikler i gasstrømmen. Målingerne af BC er ikke omfattet af akkreditering 51.

Resultaterne fra den multispektrale analyse kan anvendes til estimering af partikulært Black Carbon fra henholdsvis fossile kilder (BC<sub>FF</sub>) og afbrænding af biomasse (BC<sub>WB</sub>).

Måleområde: 0 – 100 µg/m<sup>3</sup>

## Bilag B Datakvalitet og datafangst

Tabel 20 til 24 viser en oversigt over datafangst, dvs. hvor stor en andel af valide data, der er opnået ved måling i perioden jf. kravene i Luftkvalitetsdirektivet EN 2008/50/EF samt opgavens udbudsmateriale.

Tabel 20. Krügersgade. Datafangst for perioden.

Parameter	Datafangst		Minimumskrav til datafangst
	Timeværdier	Døgnværdier	
PM <sub>2,5</sub>	99%	99%	90%
BC	-	-	75%
PN	99%	98%	75%
NO <sub>2</sub>	97%	98%	90%

Tabel 21. Søtorvet. Datafangst for perioden.

Parameter	Datafangst		Minimumskrav til datafangst
	Timeværdier	Døgnværdier	
PM <sub>2,5</sub>	100%	100%	90%
BC	-	-	75%
PN	99%	99%	75%
NO <sub>2</sub>	99%	100%	90%

Tabel 22. Hillerødgade. Datafangst for perioden.

Parameter	Datafangst		Minimumskrav til datafangst
	Timeværdier	Døgnværdier	
PM <sub>2,5</sub>	100%	100%	90%
BC	-	-	75%
PN	99%	99%	75%
NO <sub>2</sub>	99%	99%	90%

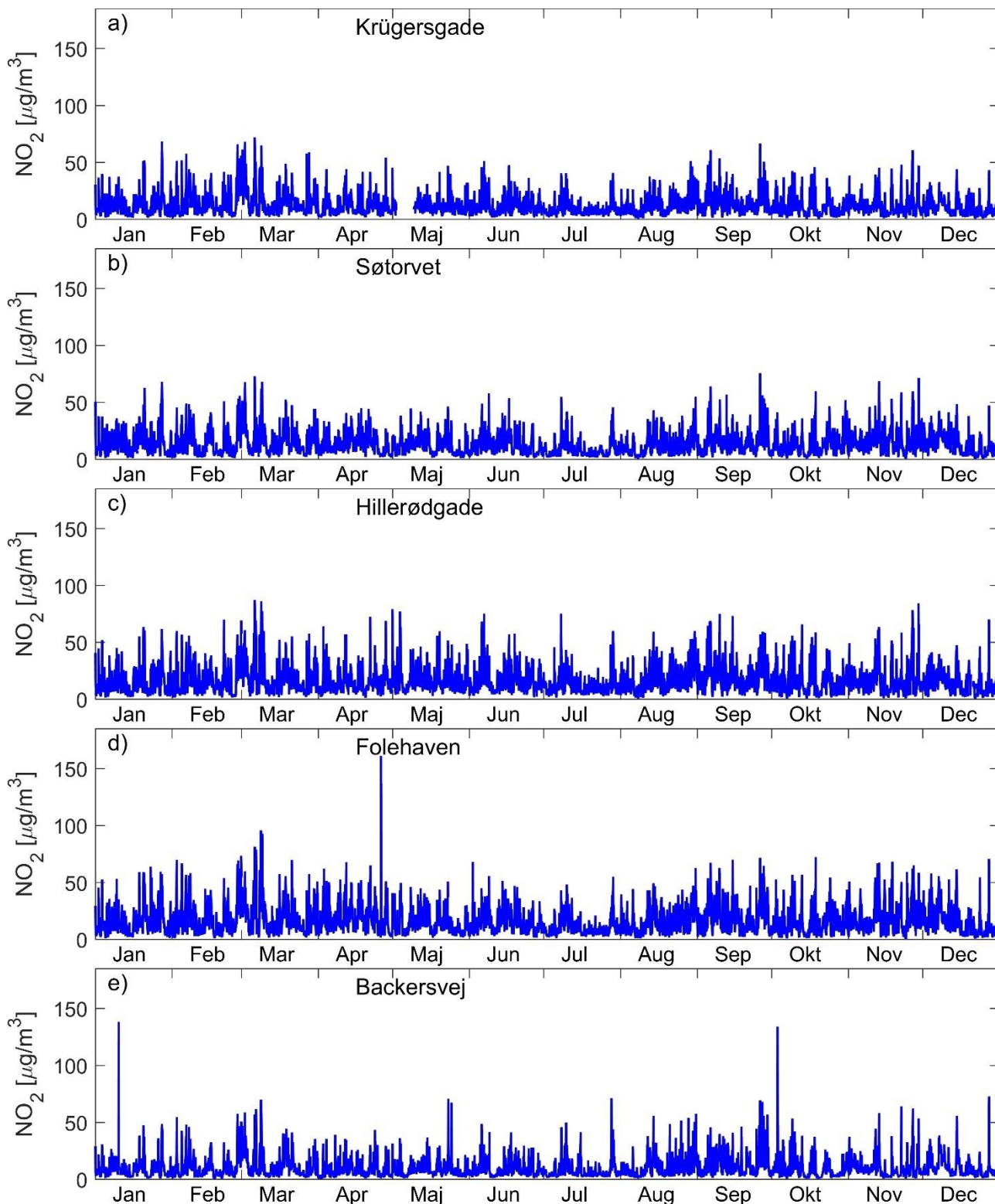
Tabel 23. Folehaven. Datafangst for perioden.

Parameter	Datafangst		Minimumskrav til datafangst
	Timeværdier	Døgnværdier	
PM <sub>2,5</sub>	100%	100%	90%
BC	99%	99%	75%
PN	98%	97%	75%
NO <sub>2</sub>	99%	100%	90%

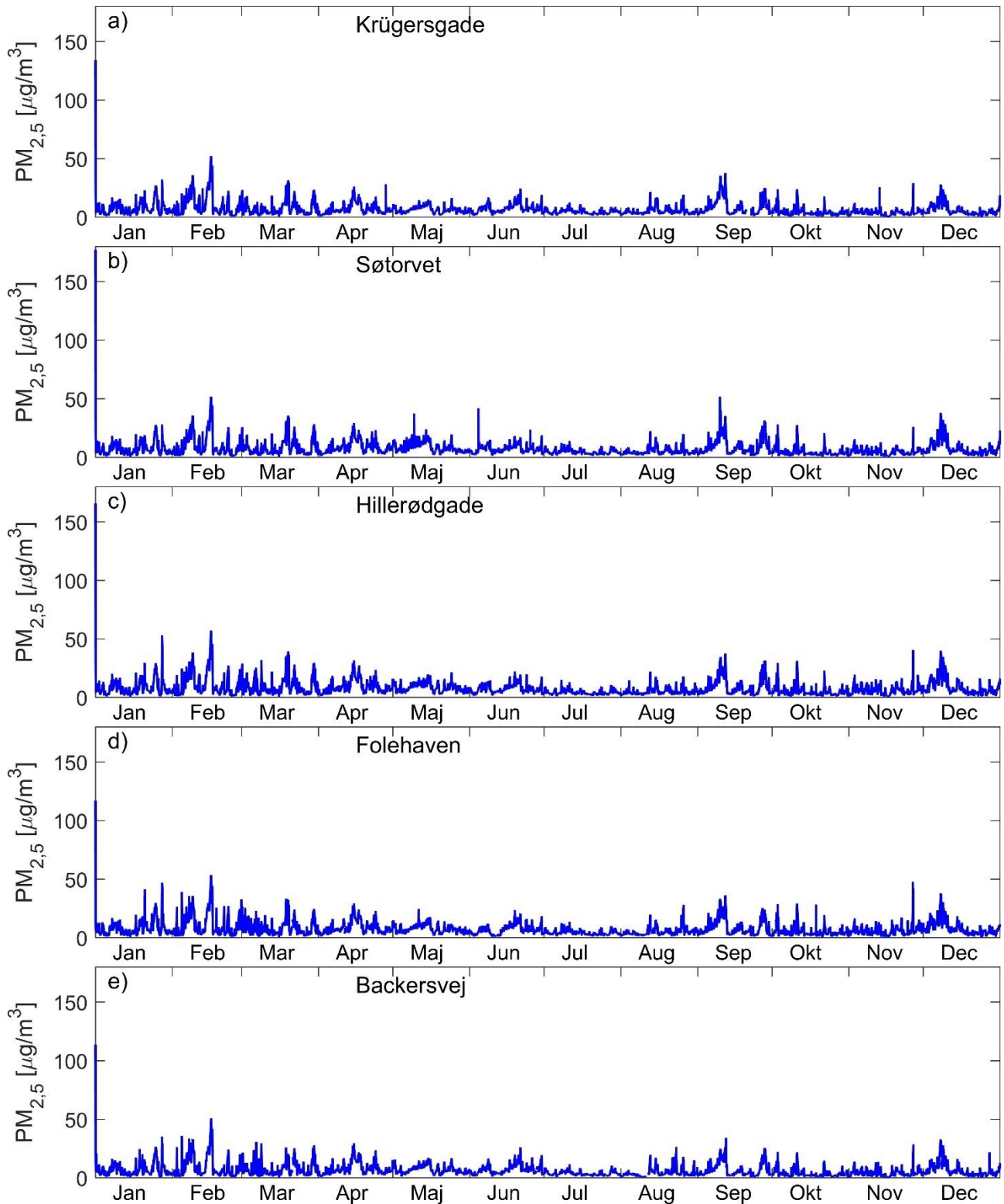
Tabel 24. Backersvej. Datafangst for perioden.

Parameter	Datafangst		Minimumskrav til datafangst
	Timeværdier	Døgnværdier	
PM <sub>2,5</sub>	100%	100%	90%
BC	97%	97%	75%
PN	100%	100%	75%
NO <sub>2</sub>	99%	100%	90%

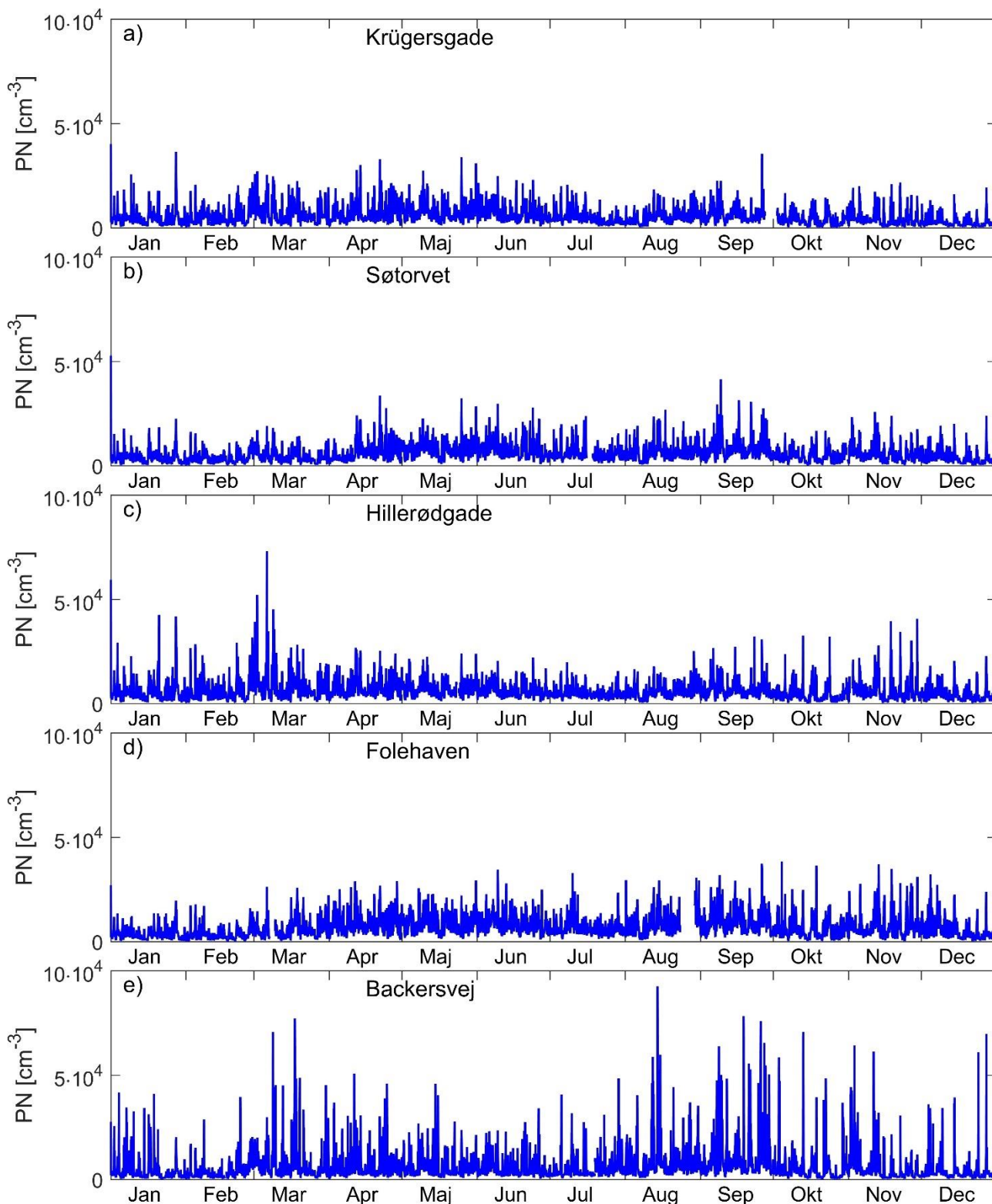
### Bilag C Timemiddelværdier for NO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PN og BC



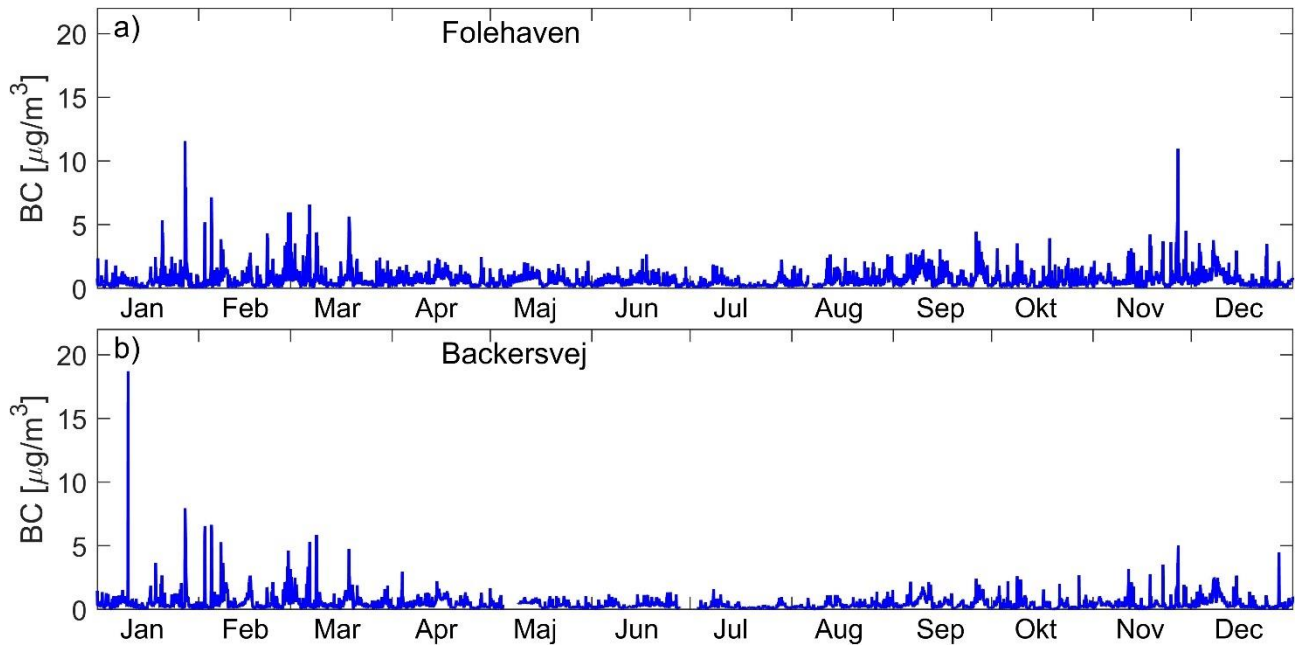
Figur 10. Timemiddelværdier for NO<sub>2</sub>. EU's grænseværdi for timemiddel NO<sub>2</sub> er på 200 µg/m<sup>3</sup>, hvilket ikke kan ses i figuren, da højest målte timemiddel var på 161 µg/m<sup>3</sup> i løbet af 2023. Gab i tidsserierne skyldes kalibrering, vedligeholdelse eller reparation af måleinstrumenter.



Figur 11. Timemiddelværdier for  $PM_{2,5}$ . Gab i tidsserierne skyldes kalibrering, vedligeholdelse eller reparation af måleinstrumenter.



Figur 12. Timemiddelværdier for partikelantalskoncentrationer (PN). PN kan betragtes som indikator for koncentrationen af ultrafine partikler (UFP). Gab i tidsserierne skyldes kalibrering, vedligeholdelse eller reparation af måleinstrumenter. Målingerne af PN er ikke omfattet af akkreditering.



Figur 13. Timemiddelværdier for Black Carbon (BC). Gab i tidsserierne skyldes kalibrering, vedligeholdelse eller reparation af måleinstrumenter. Målingerne af BC er ikke omfattet af akkreditering.

## Bilag D Kontaktinformation

### Om FORCE Technology

FORCE Technology er en selvejende organisation og GTS-Institut, der udbyder en bred vifte af uvildig service og rådgivning til myndigheder og industrivirksomheder. Opgaver vedrørende luftkvalitetsmålinger er forankret i Afdelingen for Clean Air Technologies.

Afdelingen for Clean Air Technologies beskæftiger sig med målinger af immissioner (luftkvalitet i udeluft), emissioner, spredningsberegninger, indeklima og lugt. Desuden er afdelingen udpeget som Miljøstyrelsens Referencelaboratorium for måling af emissioner til luften. Afdelingen har mange års erfaring med opsætning og drift af monitorer til måling af luftkvalitet samt rådgivning og rapportering af data.

### Medarbejdere

#### **Thomas Bjerring Kristensen, specialist og fagområdeansvarlig for luftkvalitet, ph.d. (Projektleder fra 1/1-2023)**

Specialist i aerosolfysik og atmosfærekemi. Har stor ekspertise omkring aerosolpartikler gennem 15 års forskningsarbejde indenfor feltet. Thomas er desuden fagområdeansvarlig for afdelingens aktiviteter inden for luftkvalitet.

#### **Frantz Bræstrup, specialist, ph.d. (Projektleder frem til 31/12-2022)**

Ekspert i partikel- og gasmålinger fra stationære og mobile kilder. Har arbejdet med luftkvalitetsmålinger gennem mere end 10 år.

#### **Marcus Levin, specialist, ph.d.**

Specialist i nanopartikler. Har arbejdet med luftkvalitetsmålinger og luftforureningens skadelige virkninger gennem sit tidligere arbejde hos Det Nationale Forskningscenter for Arbejdsmiljø.

#### **Karsten Fuglsang, seniorkonsulent og tidligere fagområdeansvarlig for luftkvalitet**

Projektkoordinator og ansvarlig for udviklingen af teknologiske serviceydelser til luftkvalitet. Karsten Fuglsang gik på pension d. 1. aug. 2023, men har siden bidraget som timelønsbaseret seniorkonsulent.

#### **Tommy Hansen, Tekniker**

Erfaren tekniker inden for drift, kalibrering og service af målestationer og monitorer til luftkvalitet.

#### **John Stenbring Nielsen, Maskinmester**

Erfaren tekniker inden for drift, kalibrering og service af målestationer og monitorer til luftkvalitet.

**Kontakt**

Afdeling: Clean Air Technologies

**Forfatter:**

Thomas Bjerring Kristensen

**Kvalitetssikring:**

Marcus Levin

Karsten Fuglsang

**FORCE Technology**

Park Allé 345

2605 Brøndby

Danmark