

FORCE Technology

16. maj 2023

Overvågning af luftkvalitet i Københavns Kommune

Årlig afrapportering for 2022



[tom side]

Indholdsfortegnelse:

Resumé.....	4
Summary in English.....	6
1 Indledning	7
2 Forkortelser	8
3 Måleprogram og metoder.....	8
3.1 Datapræsentation på hjemmeside	8
3.2 Beskrivelse af målestationer.....	8
3.3 Forureningsparametre	10
3.4 Grænseværdier	11
3.5 Målemetoder.....	12
4 Måleresultater	13
4.1 NO ₂	13
4.2 Partikulær masse, PM _{2,5}	17
4.3 Partikelantal, PN.....	20
4.4 Black Carbon, BC.....	23
5 Variationer i luftkvalitet.....	26
5.1 Episoder med forringet luftkvalitet.....	26
5.2 Luftkvaliteten på hverdage.....	31
5.3 Sammenstilling af døgnvariationer.....	34
Bilag A Målemetoder.....	36
NO _x (NO og NO ₂)	36
Partikulær masse (svævestøv), PM _{2,5} og PM ₁₀	36
Partikelantal, PN	37
Black Carbon, BC	37
Bilag B Datakvalitet og datafangst	38
Bilag C Timemiddelværdier for NO ₂ , PM _{2,5} , PN og BC	40
Bilag D Modellering af BC på Folehaven.....	44
Bilag E Luftmassehistorik for episoder med forringet luftkvalitet	46
Bilag F Kontaktinformation	48
Om FORCE Technology	48
Medarbejdere	48

Resumé

Denne rapport præsenterer luftkvalitetsmålinger udført i 2022 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.

FORCE Technology vurderer, at samtlige fem målestationer lever op til gældende bestemmelser om målemetode og placering. Der afrapporteres nitrogendioxid (NO₂), partikelmasse (PM_{2,5}) og partikelantal (PN) fra alle fem målestationer og Black Carbon (BC) fra Folehaven og Backersvej. Antalskoncentrationerne af partikler (PN) kan betragtes som et mål for ultrafine partikler (UFP). Målingerne af PM₁₀ er udeladt i denne rapport, da der pågår en nærmere undersøgelse af den nødvendige korrektionsfaktor. Et notat herom forventes udarbejdet af FORCE Technology i 3. kvartal af 2023.

I Danmark er grænseværdier for luftkvaliteten bestemt ved EU's luftkvalitetsdirektiver. Københavns Kommune har desuden fastlagt en ambition om i 2030 at overholde WHO's retningslinjer for PM_{2,5}, PM₁₀ og NO₂. Grænseværdier og retningslinjer kan enten have til formål at regulere årsmiddelmiddelmålinger 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 NO₂ og PM_{2,5} var i 2022 overholdt på alle fem målestationer. WHO's retningslinjer for årsmiddelværdier af NO₂ og PM_{2,5} blev overskredet på alle fem målestationer, med undtagelse af årsmiddelmiddelmåling på Backersvej. WHO's retningslinjer for omfanget af forhøjede døgnmiddelmålinger af NO₂ og PM_{2,5} blev overskredet på alle målestationerne. Resultaterne er opsummeret som oversigt i Tabel 1. I forhold til 2021 blev der observeret en reduktion i NO₂ på de fem målestationer. Der blev observeret et mindre fald i PM_{2,5} fra 2021 til 2022 for alle fem målestationer.

De højeste årsmiddelmålinger for PN blev observeret på Krügersgade efterfulgt af Backersvej, Hillerødgade og Søtorvet, mens den laveste årsmiddelmiddelmåling blev observeret på Folehaven. Årgennemsnittet af Black Carbon var på Folehaven højere end på Backersvej, hvilket til dels kan tilskrives den langt større trafikintensitet på Folehaven ift. Backersvej. Fra 2021 til 2022 observeredes en mindskning i BC på Folehaven, mens BC på Backersvej var på samme niveau for de to år.

Variationer i forureningsparametrene fordelt på ugedage, samt analyser af enkelte udvalgte perioder med forringet luftkvalitet præsenteres i rapporten. Disse analyser understøtter, at lokale emissioner fra trafik og brændeovne samt meteorologi og langtransport kan påvirke luftkvaliteten i København. Intensiteten af den lokale trafik kan tydeligvis påvirke niveauerne af NO₂, PN og BC, da der kan observeres tydelige forskelle i niveauerne mellem målestationerne og/eller mellem hverdage og weekend. Forskelle i PM_{2,5} mellem målestationerne samt mellem hverdage og weekend er mere beskedne, hvilket understøtter at PM_{2,5} er stærkere koblet til langtransport.

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 2022.

	Parameter	Krügersgade	Søtorvet	Hillerødgade	Folehaven	Backersvej
EU	NO ₂ (Timemiddelværdi)					
	NO ₂ (Årsmiddelværdi)					
	PM _{2,5} (Årsmiddelværdi)					
WHO	NO ₂ (Døgnmiddelværdi)					
	NO ₂ (Årsmiddelværdi)					
	PM _{2,5} (Døgnmiddelværdi)					
	PM _{2,5} (Årsmiddelværdi)					

Summary in English

This report presents the results of air quality measurements performed in 2022 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, Søtorvet, 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.

FORCE Technology assess that all five monitoring stations fulfill the requirements of the air quality directive regarding location and method of measurements. Measurements of nitrogendioxide (NO₂), particulate matter (PM_{2,5}) and aerosol particle number concentration (PN) were carried out at all five monitoring stations, while black carbon (BC) was measured at Folehaven and Backersvej. Aerosol particle number concentrations (PN) can be considered a measure of the concentration of ultrafine particles (UFP). Measurements of PM₁₀ are not included in this report since further investigations of the correction factor are undergoing. Results of the investigation will be presented in a report by FORCE Technology in the third quarter of 2023.

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_{2,5}, PM₁₀ and NO₂, 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 NO₂ and PM_{2,5} during 2022. WHO's guidelines for the annual average concentrations of NO₂ and PM_{2,5} were exceeded at all five monitoring stations, with the exception of NO₂ at Backersvej. WHO's guidelines for the number of days with elevated pollution levels of NO₂ and PM_{2,5} 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 (Resumé). In comparison to 2021, decreases in NO₂ were observed at the five monitoring stations. Minor reductions in PM_{2,5} were observed for 2022 relative to 2021 at the five monitoring stations.

The highest annual average PN-levels were observed at Krügersgade followed by Backersvej, Hillerødgade and Søtorvet, while the lowest annual average was measured at Folehaven. The annual average of Black Carbon (BC) was higher at Folehaven relative to Backersvej, which at least in part can be ascribed to the higher traffic intensity at Folehaven relative to Backersvej. From 2021 to 2022, a reduction in BC was observed at Folehaven, while the levels at Backersvej were similar in 2021 and 2022.

The diurnal variability of air pollution parameters on different weekdays, and detailed analyses of conditions during periods with poor air quality are presented and discussed in this report. The analyses support, that local emissions from traffic and wood stoves as well as meteorology and long distance transport potentially influence the air quality in Copenhagen. Through comparison of measurements between the monitoring stations and/or when comparing weekdays to weekends, it is evident that the local traffic intensity has a significant influence on the concentrations of NO₂, PN and BC. Differences in PM_{2,5} between monitoring stations as well as between weekdays to weekends were modest, which supports that PM_{2,5} is dominated by long distance transport.

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 indhente øget viden om luftforurening og de deraf følgende sundhedsskadelige effekter.

Længerevarende såvel som kortvarig eksponering til forringet luftkvalitet kan medføre helbredseffekter. Derfor findes der to typer af grænseværdier for luftforureningsparametre. 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 luftkvalitet¹.

I tillæg til helbredseffekter, så kan visse typer af luftforurening påvirke miljø og klima negativt. Emissioner af fx NO_x (NO+NO₂) 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 (NO₂), partikelmasse (PM_{2,5}) 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 NO₂ og PM_{2,5}, 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_x (NO + NO₂), partikelantal og Black Carbon, mens det lokale bidrag til partikler bestemt som PM_{2,5} på årsbasis er mere beskedent i forhold til bidraget fra langtransport².

Denne afrapportering omfatter kalenderåret 2022 med sammenligninger til målinger foretaget i de sidste måneder af 2020 samt kalenderåret 2021. 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 PM_{2,5} og PM₁₀ inkluderet. Da der efterfølgende er stillet spørgsmål til, om den anvendte korrektionsfaktor ifm. PM₁₀ målingerne er korrekt, arbejder FORCE Technology for nuværende på nogle omfattende sammenligninger mellem PM₁₀ målt med den optiske metode i forhold til referencemetoden. Afrapporteringen af PM₁₀ resultater afventer, at den supplerende undersøgelse er gennemført og evalueret, og derfor er måleresultaterne for PM₁₀ ikke omfattet af denne rapport. Resultaterne af undersøgelse forventes præsenteret i et notat fra FORCE Technology i 3. kvartal af 2023.

¹ WHO: WHO global air quality guidelines, 2021.

² DCE: Luftkvalitet 2019, Status for den nationale luftkvalitetsovervågning i Danmark, 2021.

2 Forkortelser

- BC Black Carbon
- BC_{WB} Black Carbon Wood Burning
- BC_{FF} Black Carbon Fossil Fuel
- NO Nitrogenoxid
- NO₂ Nitrogendioxid
- NO_x NO + NO₂
- PM_{2,5} Masse af partikler med en diameter <2,5 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 sundhedsskadelige effekter af luftforureningen. Data præsenteres via en hjemmeside for borgerne i København samt andre interesserede. Denne datapræsentation er tilgængelig på websiden erluften.sund.kk.dk, hvor måldata for det seneste døgn og den seneste måned præsenteres og vurderes sundhedsmæssigt ud fra et luftkvalitetsindex beregnet ud fra målte koncentrationer af NO₂, PM_{2,5} og PM₁₀.

3.2 Beskrivelse af målestationer

Der er opstillet fem målestationer til kontinuert monitoring af luftkvaliteten i Københavns Kommune i en 3-årig periode. Målestationerne er placeret på de følgende fem 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. Målestationerne på Søtorvet, Hillerødgade, Folehaven og Backersvej er opstillet, så de opfylder kravene til placering af målesteder som beskrevet i EU-direktiv 2008/50/EF samt seneste ændringer i EU-direktiv 2015/1480/EF. Dette sikrer, at målingerne er repræsentative for området. Målestationen på Krügersgade vurderes at opfylde EU's retningslinjer idet T-krydset mellem Ågade og Krügersgade ikke regnes som et større vejkræds.

Tabel 2 angiver hvilke luftforureningsparametre, der måles 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 måleprogrammet strækker sig frem til december 2023. Datafangst fremgår af Bilag B.

Tabel 2. Målte luftkvalitetsparametre på de enkelte målestationer. En beskrivelse af måleparametrene præsenteres i afsnit 3.3.

Måleparametre	Krügersgade	Søtorvet	Folehaven	Hillerødgade	Backersvej
Stationsnr.	1	2	3	4	5
PM _{2,5}	x	x	x	x	x
PN	x	x	x	x	x
BC, BC _{WB} , BC _{FF}			x		x
NO, NO _x , NO ₂	x	x	x	x	x



Figur 1. Oversigtskort for placeringer af målestationer.

3.3 Forureningsparametre

3.3.1 NO, NO₂ og NO_x

NO og NO₂ 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 NO₂ (kvælstofdioxid). Den udledte NO oxideres til NO₂ i atmosfæren over sekunder til timer afhængig af tilstedeværelsen af ozon. NO_x udgør summen af NO + NO₂.

NO₂ 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 NO₂. EU har gennem de seneste årtier introduceret skærpede krav til minimering af NO_x emissioner fra køretøjer. Det er derfor særligt ældre køretøjer med dieselmotorer, der udleder NO_x, eller alternativt dieseldrevne køretøjer med defekt katalysator. I takt med at antallet af ældre dieseldrevne køretøjer mindskes, så forventes koncentrationen af NO_x målt på gadeplan i København også at mindskes.

3.3.2 Partikelmasse, PM

PM er en forkortelse for det engelske "Particulate Matter". PM_{2,5} 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 PM₁₀-målingerne, så i nærværende rapport fokuseres alene på PM_{2,5}.

Det er velkendt, at eksponering til PM_{2,5} har negative helbredseffekter for mennesker. PM_{2,5} 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_{2,5} kan variere meget markant hvad angår partikelstørrelser og kemisk sammensætning, hvilket er koblet til kilderne. I København er forhøjede niveauer af PM_{2,5} ofte et resultat af langtransport fra det europæiske kontinent. De højeste niveauer ses oftest i vinterhalvåret og i brændeovnsæsonen. Gennemgående vil helbredseffekterne af PM_{2,5} afhænge af partikelstørrelser og kemisk sammensætning. Derfor er det meget nyttigt at opnå mere detaljeret viden om de fysiske-kemiske egenskaber af PM_{2,5}.

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 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_{2,5}, 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_{2,5}. 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 emitteret 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 skyldes derfor formentlig hovedsageligt ældre dieseldrøjet køretøjer uden partikelfilter monteret – eller dieseldrøjet køretøjer med defekt partikelfilter. De trafikale emissioner af BC i København bør dermed være aftagende over en årrække i takt med, at der forventeligt bliver færre ældre dieseldrøjet køretøjer uden partikelfiltre på gaderne.

BC emitteret 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 støtteparametre fra litteraturen³ 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. 1472⁴. Ud over EU's grænseværdier kan det være relevant at sammenligne resultater af luftkvalitetsmålinger med WHO's retningslinjer for luftkvalitet.

WHO giver anbefalinger vedrørende vejledende grænseværdier for stoffer ud fra en sundhedsmæssig vurdering⁵. I september 2021 udkom WHO med reviderede anbefalinger vedrørende grænseværdier for stoffer i udeluft, herunder ændringer for PM_{10} , $PM_{2,5}$ og NO_2 . Tabel 3 viser de gældende EU grænseværdier for de stoffer, der er omfattet af måleprogrammet og beskrevet i denne rapport. Percentil-grænseværdier⁶ anvendes til at sætte et loft for hvor mange timer eller døgn særligt forhøjede niveauer tillades.

³ Helin et al. Atmospheric Environment 190 (2018) 87–98.

⁴ BEK nr. 1472 af 12/12/2017. Bekendtgørelse om vurdering og styring af luftkvaliteten.

⁵ WHO's vejledende grænseværdier er typisk baseret på NOAEL (No Observed Adverse Effect Level).

⁶ 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.

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

Parameter	Grænseværdi (koncentration)	Midlingstid ⁷	Højest antal tilladelige overskridelser pr. år
PM _{2,5}	25 µg/m ³	1 år	-
Nitrogendioxid (NO ₂)	200 µg/m ³	1 time	18 ⁽⁸⁾
	40 µg/m ³	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 _{2,5}	15 µg/m ³	24 timer	3-4 ⁽⁹⁾
	5 µg/m ³	1 år	
Nitrogendioxid (NO ₂)	25 µg/m ³	24 timer	3-4 ⁽⁹⁾
	10 µg/m ³	1 år	

Der er endnu ikke fastsat grænseværdier for ultrafine partikler (målt som partikelantal, PN), og for Black Carbon/Elemental Carbon, hverken i EU eller af WHO. Det skal bemærkes, at EU tidligere har anvendt OECDs grænseværdier for "Black Smoke"¹⁰. Disse grænseværdier er imidlertid fastsat i 1970'erne af OECD og har i dag kun historisk interesse.

3.5 Målemetoder

En oversigt over de anvendte måleprincipper er vist i Tabel 5. Målingerne af PM_{2,5} samt NO/NO₂/NO_x er omfattet af FORCE Technology's akkreditering nr. 51 fra DANAK. En mere detaljeret beskrivelse af målemetoderne findes i Bilag A.

Tabel 5. Oversigt over anvendte målemetoder.

Parameter	Målemetode
PM _{2,5}	Optisk måling/lysspredning
NO, NO ₂ , NO _x	Kemiluminescens
Partikelantalskoncentration (PN)	CPC (Condensation Particle Counter)
Black Carbon (BC)	Aethalometer (Optisk måling/lysdæmpning)

⁷ Midlingstiden er varigheden af den måleperiode, som et gennemsnit beregnes over. En midlingstid på en time for fx NO₂ betyder derfor, at NO₂ rapporteres som et gennemsnit for hver time i døgnet.

⁸ Den højest tilladelige 99,8-percentil for NO₂ er 200 µg/m³ iht. EU. Den tillades overskredet 18 timer per kalenderår.

⁹ De højest ønskelige 99-percentiler er for døgnmidler af PM_{2,5} og NO₂ hhv. 15 og 25 µg/m³ 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.

¹⁰ Kilde: EEA, <https://www.eea.europa.eu/publications/2-9167-057-X/page020.html>

4 Måleresultater

4.1 NO₂

De målte årsmiddelmiddelværdier af NO₂ på de fem målestationer er præsenteret i Tabel 6. Der observeres markante forskelle mellem Backersvej (9 µg/m³), Søtorvet (14 µg/m³), Krügersgade (15 µg/m³) og Hillerødgade (19 µg/m³) samt Folehaven (19 µg/m³), 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. Det kan måske overraske, at der på målestationen ved Søtorvet måles et relativt lavt niveau af NO₂ trods en relativt høj trafikintensitet. Den målestation er placeret i et åbent miljø mellem Nørre Søgade og Peblinge Sø, så der må forventes mere effektiv udskiftning af luftmasser, relativt til en målestation omgivet af nærtliggende høje bygninger. Særligt ved sydvestlige over vestlige til nordlige vindretninger bidrager de lokale trafikemissioner sandsynligvis i mindre grad til niveauet af NO₂ målt på Søtorvets målestation. Altså afspejler de målte årsmiddelværdier af NO₂ en kombination af de lokale trafikale emissioner samt de lokale omgivelser i kombination med de meteorologiske forhold.

EU's grænseværdi for årsmiddel NO₂ er på 40 µg/m³, og der målt i 2022 markant lavere niveauer på samtlige målestationer. WHO's retningslinje for årsmiddel NO₂ er på 10 µg/m³, hvilket blev overholdt ved målestationen på Backersvej i 2022, mens den blev overskredet på de fire andre målestationer.

I Tabel 6 præsenteres også 99,8 percentilen for timemiddelværdier af NO₂ i 2022. Der er tale om værdier, som kun overskrides ca. 18 timer årligt. De koncentrationer repræsenterer altså sjældent forekommende og stærkt forhøjede niveauer af NO₂. Niveauerne for 99,8 percentilen for timemiddelværdier af NO₂ spænder fra 57 µg/m³ på Backersvej over 71 µg/m³ (Krügersgade) og 75 µg/m³ (Søtorvet) til 82/83 µg/m³ på Hillerødgade/Folehaven. Dermed afspejler forskellene i niveauet for stærkt forhøjede timemiddelværdier af NO₂ niveauet af den lokale trafikintensitet.

Tabel 6. Beregnede middelværdier og percentiler for NO₂ i 2022 på målestationerne i henhold til EU's grænseværdier samt WHO's retningslinjer.

Parameter	Grænseværdi			Målte middelværdier og percentiler 2022				
	Grænseværdi fra	µg/m ³	Grænseværdi baseret på	Krügersgade	Søtorvet	Hillerødgade	Folehaven	Backersvej
				µg/m ³				
NO ₂	EU	40	Årsmiddelværdi	15	14	19	19	9
NO ₂	WHO (vejledende)	10	Årsmiddelværdi	15	14	19	19	9
NO ₂	EU	200	99,8-percentil af timemiddelværdier over året ¹¹	71	75	82	83	57
NO ₂	WHO (vejledende)	25	99-percentil af døgnmiddelværdier over året ¹²	35	40	45	51	29

¹¹ 99,8-percentilen defineret iht. EU's grænseværdi for timemiddelværdier for NO₂. Den tillades overskredet for 18 timer på et år.

¹² 99-percentilen for døgnmiddel NO₂ ligger mellem den 5. og den 4. højeste døgnmiddelværdi for 2022.

I Tabel 6 præsenteres slutteligt 99-percentilen for døgnmiddel NO₂. Det er niveauer, der kun overskrides for 4 døgn i løbet af 2022. Igen afspejler rangeringen fra den mindste værdi på Backersvej (29 µg/m³), over Krügersgade (35 µg/m³) og Søtorvet (40 µg/m³) til Hillerødgade (45 µg/m³) og Folehaven (51 µg/m³) at den lokale trafikintensitet har stor betydning. WHO anbefaler at 99-percentilen for døgnmiddel NO₂ ikke overstiger 25 µg/m³. Den retningslinje blev ikke overholdt på nogen af målestationerne i 2022, men niveauet på Backervej var ikke langt fra at overholde anbefalingen, hvilket beskrives mere detaljeret nedenfor.

Årsmiddelværdierne for NO₂ målt fra 2020-2022 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. Der observeres fra 2021 til 2022 en mindskning i årsmiddelværdi af NO₂ på alle fem målestationer på ca. 10% til ca. 30%. Emissionerne af NO_x har været aftagende over de seneste årtier i Danmark og EU. Det er uklart i hvilket omfang forskelle i meteorologiske forhold og trafikmønstre kan have påvirket årsmiddel af NO₂ i 2021 relativt til 2022. Det er dog sandsynligt, at en del af mindskningen i årsmiddel af NO₂ fra 2021 til 2022 skyldes en reduktion i NO_x-emissioner og sandsynligvis færre stærkt NO_x-emitterende køretøjer på de Københavnske gader. Det kan forventes at koncentrationen af NO₂ over de kommende år fortsat vil mindskes i København i takt med at udledninger fra den vejgående trafik mindskes.

For at WHO's retningslinje for årsmiddel NO₂ overholdes på alle målestationerne, så er en yderligere mindskning i koncentrationen nødvendig på 4 af målestationerne. I Tabel 8 er de nødvendige procentuelle mindskninger præsenteret. På Krügersgade og Søtorvet er en reduktion på ca. 30% nødvendig, mens en reduktion på små 50% er nødvendig på Hillerødgade og Folehaven, hvis WHO's retningslinje skal være overholdt.

Tabel 7. Årsgennemsnit for NO₂ fra 2020 til 2022 målt på de fem målestationer. Bemærk, at måleperioden i 2020 kun dækker de sidste 3 - 4 måneder, hvilket gør en direkte sammenligning vanskelig.

NO ₂	Krügersgade	Søtorvet	Hillerødgade	Folehaven	Backersvej
	µg/m ³				
2020	15	21	20	23	10
2021	17	18	22	27	11
2022	15	14	19	19	9

Tabel 8. Påkrævet, procentuel reduktion af NO₂ i forhold til de målte 2022-koncentrationer, såfremt årsmiddelværdierne på de enkelte stationer skal leve op til WHO's retningslinje.

Parameter	Grænseværdi baseret på	Krügersgade	Søtorvet	Hillerødgade	Folehaven	Backersvej
		%				
NO ₂	Årsmiddelværdi	33%	29%	47%	47%	0%

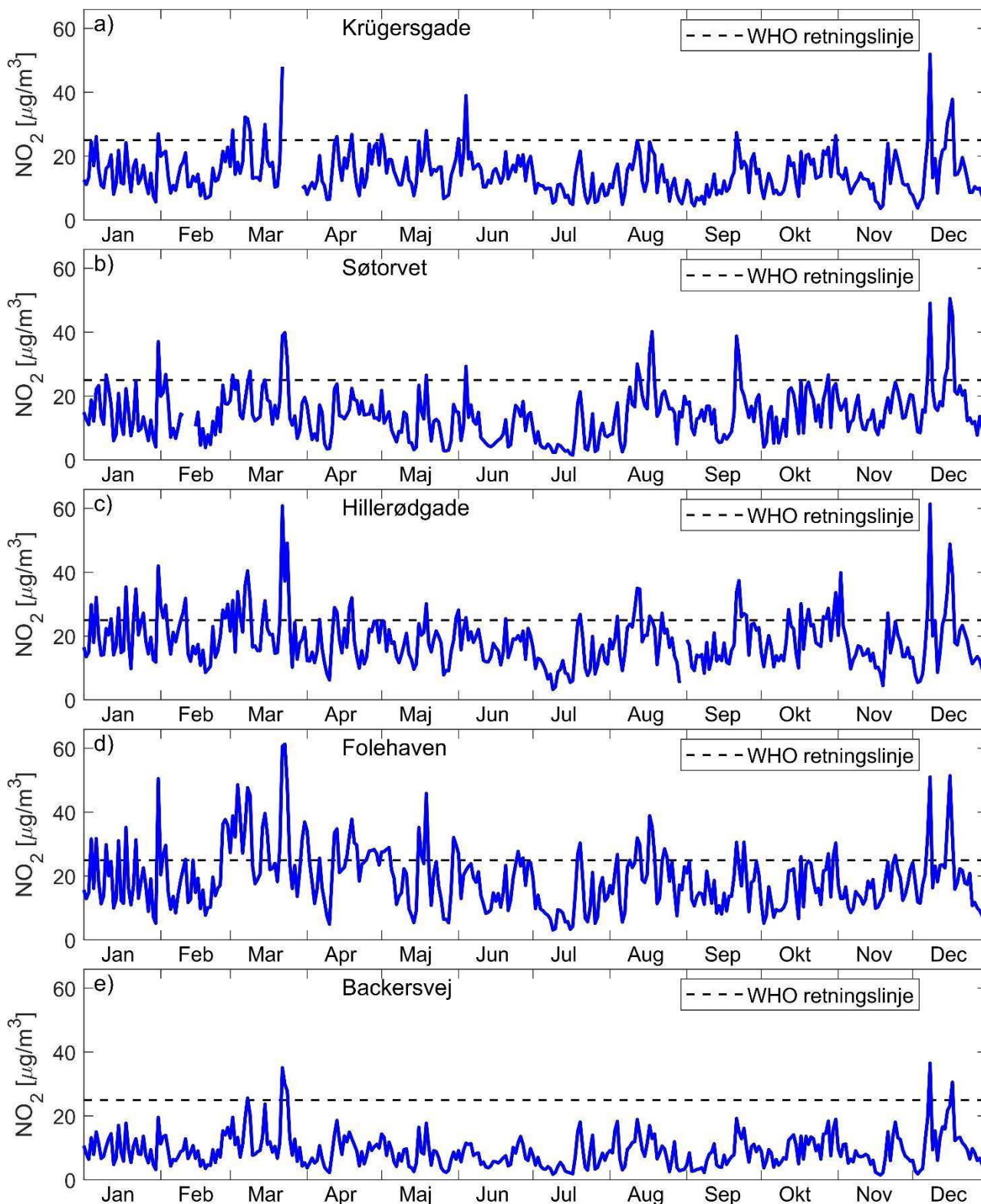
Tidsserierne for døgnmiddel NO₂ for de fem målestationer er afbildet i Figur 2 nedenfor. WHO's percentil retningslinje på 25 µg/m³ for døgnmiddel NO₂ er også inkluderet i Figur 2, og ifølge anbefalingen bør den højst overskrides 3-4 gange i løbet af et kalenderår. I Figur 2,a+b kan det ses at døgnmiddel NO₂ på Krügersgade og Søtorvet sjældent markant overstiger 25 µg/m³, men der forekommer en række døgnmiddelværdier meget nær 25 µg/m³. I Figur 2,c+d kan et noget anderledes billede for Hillerødgade og Folehaven observeres. Der var døgnmiddelværdier for NO₂ nær 25 µg/m³ almindeligt forekommende med adskillige døgnmiddelværdier markant overstigende 25 µg/m³. Tidsserien for døgnmiddel NO₂ på Backersvej er afbildet i Figur 2,e, hvor værdierne oftest er en del under 25 µg/m³.

I Tabel 9 præsenteres antallet af overskridelser af retningslinjen på 25 µg/m³ for døgnmiddel NO₂ på de forskellige målestationer. Totalt var der hhv. 20 og 24 døgn med døgnmiddel NO₂ overstigende 25 µg/m³ for Krügersgade og Søtorvet. Antallet af de døgn kan dog forventes at mindskes betydeligt ved en beskedne reduktion i NO₂, da adskillige døgnmiddelværdier kun ligger en smule over 25 µg/m³ (se Figur 2 nedenfor). Det kan også ses af Tabel 9, at antallet af døgn med middelværdier overstigende 25 µg/m³ er 65 og 79 for hhv. Hillerødgade og Folehaven. Altså kræves der nær de to målestationer mere udtalte reduktioner i NO₂ før end WHO's retningslinje angående døgnmiddel NO₂ overholdes. På Backersvej overskrides retningslinjen angående døgnmiddel NO₂ for 6 døgn i 2022 (Tabel 9). Overskridelserne forekommer i marts og december, hvor NO₂ koncentrationen samtidigt er forhøjet på samtlige målestationer (se Figur 2 nedenfor). To af de episoder i marts og december er beskrevet i større detalje nedenfor i Afsnit 5.1.

Tidsserierne for timemiddel NO₂ er vist i Figur 11 i Bilag C. EU har en percentil-grænseværdi for timemiddel NO₂ på 200 µg/m³, der højst bør overskrides 18 gange på et kalenderår. Den højeste timemiddelværdi var nær 130 µg/m³, og blev observeret på Søtorvet i august. EU's grænseværdi for timemiddel NO₂ blev dermed ikke overskredet på nogen af målestationerne i 2022, hvilket også er tydeliggjort i Tabel 9.

Tabel 9. NO₂: Antal tilladte samt overskredne døgnmiddelværdier på de enkelte målestationer i 2022. EU's grænseværdi for timemiddel blev ikke overskredet på nogen af målestationerne. WHO's retningslinje blev overskredet på samtlige målestationer. Overskridelserne udgjorde 1% – 21% af årets dage udover de maksimalt anbefalede 3-4 døgn på et år.

NO ₂		EU's grænseværdi (200 µg/m ³ , timemiddelværdi)	WHO's vejledende grænseværdi (25 µg/m ³ , døgnmiddelværdi)	Andel af dage med overskridelser af WHO's vejledende grænseværdi udover det tilladte
Antal tilladte værdier over grænseværdi		18	3-4	
Antal overskredne værdier	Krügersgade	0	20	5%
	Søtorvet	0	24	6%
	Hillerødgade	0	65	17%
	Folehaven	0	79	21%
	Backersvej	0	6	1%



Figur 2. Døgnmiddel for NO₂ i 2022. Den vandrette stiplede linje indikerer WHO's retningslinje for NO₂ døgnmiddel, hvilken anbefales overskredet højst 3-4 gange årligt. I Tabel 9 præsenteres antallet af overskridelser af retningslinjen. Gab i tidsserierne skyldes kalibrering, vedligeholdelse eller reparation af måleinstrumenter.

4.2 Partikulær masse, PM_{2,5}

Målinger af PM_{2,5} er blevet foretaget med en optisk metode, som også giver information om PM₁₀. I årsrapporterne for 2020 og 2021 er både PM_{2,5} og PM₁₀ blevet afrapporteret. Der er efterfølgende blevet rejst spørgsmål ved PM₁₀ målingerne særligt hvad angår vinterhalvåret. FORCE Technology arbejder for nuværende på nogle omfattende sammenligninger mellem PM₁₀ målt med den optiske metode i forhold til referencemetoden. Resultaterne deraf forventes afrapporteret i 3. kvartal, 2023. FORCE Technology finder målingerne af PM_{2,5} retvisende. Målemetoden og sammenligninger med referencemetoden er beskrevet nærmere i Bilag A.

De målte årsmiddelkoncentrationer af PM_{2,5} på de fem målestationer er præsenteret i Tabel 10. Et niveau på 8-9 µg/m³ for årsmiddel PM_{2,5} 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_{2,5} i store dele af København. Det fremgår af Tabel 10 at EU's grænseværdi for årsmiddel PM_{2,5} på 25 µg/m³ er overholdt på samtlige målestationer. Omvendt er WHO's retningslinje på 5 µg/m³ ikke overholdt på nogen af målestationerne.

Tabel 10. Årsmiddel samt 99. percentilen for døgnmiddelværdier for PM_{2,5} i 2022.

Parameter	Grænseværdi			Målte middelværdier og percentiler 2022					
	Grænseværdi fra	µg/m ³	Grænseværdi baseret på	Krügersgade	Søtorvet	Hillerødgade	Folehaven	Backersvej	
	µg/m ³								
PM _{2,5}	EU	25	Årsmiddelværdi	9	8	9	9	8	
PM _{2,5}	WHO (vejl.)	5	Årsmiddelværdi	9	8	9	9	8	
PM _{2,5}	WHO (vejl.)	15	Højest tilladte døgnmiddel (99-percentil af døgnmiddelværdier over året) ¹³	33	33	34	35	32	

I Tabel 11 præsenteres årsmiddel PM_{2,5} for årene 2020-2022, hvor det skal bemærkes at tallene for 2020 ikke repræsenterer et kalenderår – men alene omtrent det sidste kvartal af året. Fra 2021 til 2022 observeres et fald i årsmiddel PM_{2,5} på 0 til 2 µg/m³. Det er positivt at årsmiddel PM_{2,5} mindskes. Det er ikke umiddelbart muligt at afgøre i hvilket omfang faldet fra 2021 til 2022 kan tilskrives en mindskning i kildestyrke og/eller forskelle i meteorologi mellem de to år. En sådan detaljeret analyse er for omfangsrig til nærværende rapport.

¹³ 99-percentil for PM_{2,5} repræsenterer et niveau mellem den 5. og 4. højeste døgnmiddelværdi for 2022.

Tabel 11. Årsgennemsnit for PM_{2,5} målt på de fem målestationer i for 2020 til 2022. Bemærk, at måleperioden i 2020 kun dækker årets fjerde kvartal.

PM _{2,5}	Krügersgade	Søtorvet	Hillerødgade	Folehaven	Backersvej
	µg/m ³				
2020	13	13	13	13	11
2021	9	10	10	10	9
2022	9	8	9	9	8

Tabel 12. Påkrævet, procentuel reduktion af luftens koncentrationer af PM_{2,5} i forhold til de målte 2022-koncentrationer, såfremt årsmiddelværdierne på de enkelte stationer skal leve op til WHO's retningslinje.

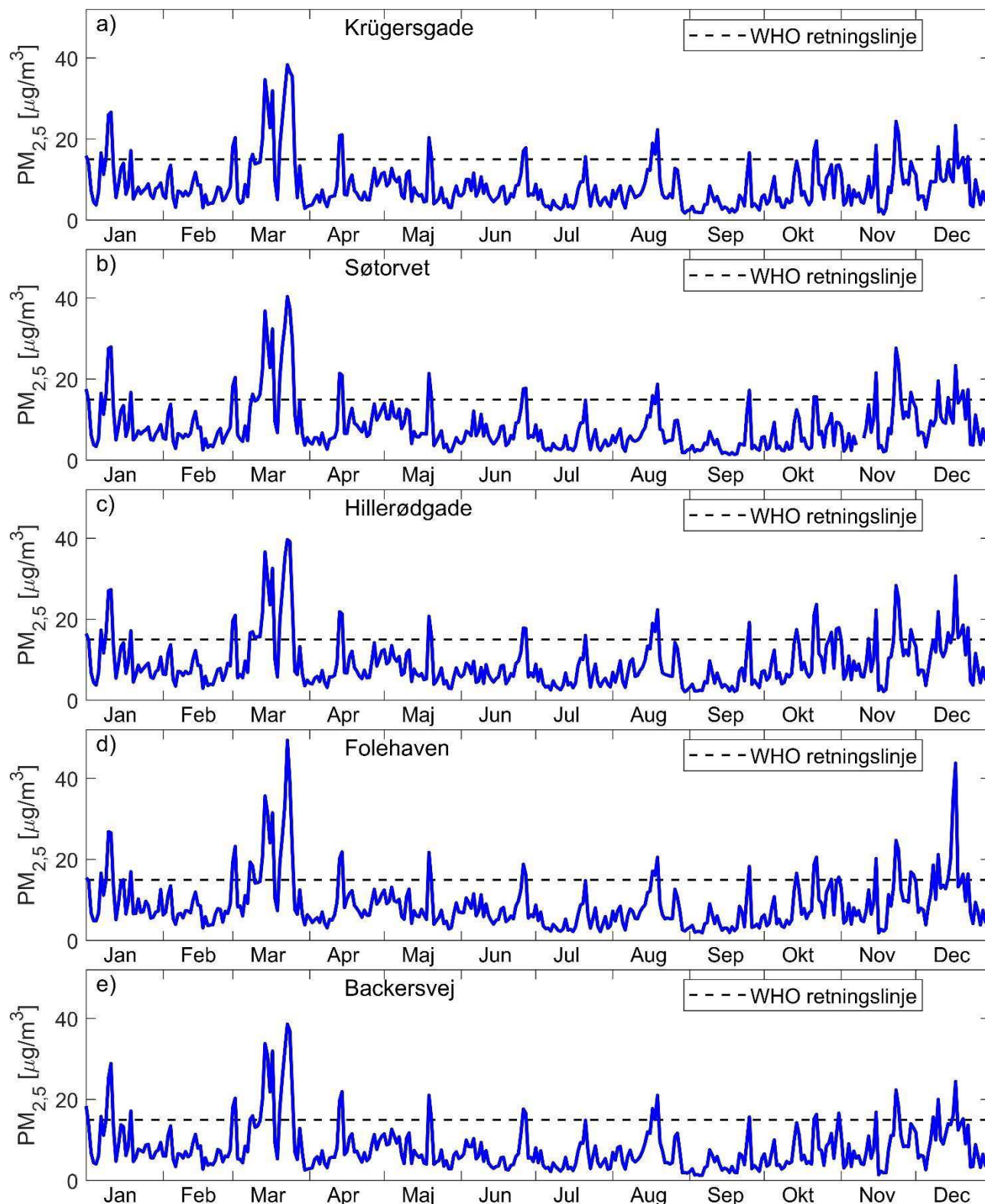
Parameter	Retningslinje baseret på	Krügersgade	Søtorvet	Hillerødgade	Folehaven	Backersvej
		%				
PM _{2,5}	Årsmiddelværdi	42%	40%	46%	45%	38%

Det fremgår af Tabel 12, hvad de nødvendige procentuelle reduktioner af årsmiddel PM_{2,5} for 2022 bør være før end WHO's retningslinje er overholdt. Reduktioner på 38-46% vil være nødvendige i den sammenhæng.

I Figur 3 præsenteres tidsserierne for døgnmiddel PM_{2,5} i 2022. Der kan observeres en høj korrelation mellem de 5 tidsserier, hvilket afspejler at langtransport af PM_{2,5} ofte er dominerende i forhold til lokale kilder. I Figur 3 er WHO's retningslinje for døgnmiddel PM_{2,5} på 15 µg/m³ inkluderet til sammenligning. Det niveau anbefales overskredet højst 3-4 gange årligt. Det kan ses af Figur 3, at niveauet på 15 µg/m³ overskrides et betydeligt antal gange på alle målestationerne i 2022. Overskridelserne forekommer hyppigst og med de højeste værdier i vinterhalvåret og i brændeovnsæsonen. Årsagerne til de forhøjede niveauer af PM_{2,5} i sidste halvdel af marts og i midten af december diskuteres nærmere i hhv. afsnit 5.1.1 og afsnit 5.1.2.

WHO's retningslinje for døgnmiddel PM_{2,5} på 15 µg/m³ er en 99. percentil. Det niveau anbefales dermed højst overskredet 3-4 gange per år. De faktisk udregnede 99. percentiler for døgnmiddel PM_{2,5} er præsenteret i den nederste del af Tabel 10. Værdierne for den 99. percentil ligger fra 32 til 35 µg/m³, hvilket er noget over WHO's retningslinje. Det kan af Tabel 13 nedenfor ses, at døgnmiddel for PM_{2,5} overskred niveauet på 15 µg/m³ 40 til 55 gange på de forskellige målestationer i løbet af 2022.

Det kan opsummeres at EU's grænseværdi for årsmiddel PM_{2,5} blev overholdt i 2022. Hvad angår WHO's retningslinjer, så er det både nødvendigt at reducere årsmiddel PM_{2,5} samt omfanget af døgn, hvor forhøjede niveauer af PM_{2,5} forekommer (større end 15 µg/m³).



Figur 3. Døgnmiddelværdier for PM_{2,5}. Den vandrette stiplede linje indikerer WHO's retningslinje for PM_{2,5} 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.

Tabel 13. PM_{2,5}: Antal tilladte samt overskredne døgnmiddel percentilværdier på de enkelte målestationer i 2022. WHO's retningslinje for den 99. percentil på højst 15 µg/m³ overskrides 10 – 14% af årets døgn udover de maksimalt anbefalede 3-4 døgn på et år. EU har ikke en grænseværdi relateret til døgnmiddel PM_{2,5}.

PM _{2,5}		EU's grænseværdi	WHO's vejledende grænseværdi (15 µg/m ³ , døgnmiddel-værdi)	Andel af dage med overskridelser af WHO's vejledende grænseværdi udover det tilladte
Antal tilladte værdier over grænseværdi		Ikke fastsat	3-4	
Antal overskredne værdier	Krügersgade	-	40	10%
	Søtorvet	-	44	11%
	Hillerødgade	-	55	14%
	Folehaven	-	48	12%
	Backersvej	-	42	11%

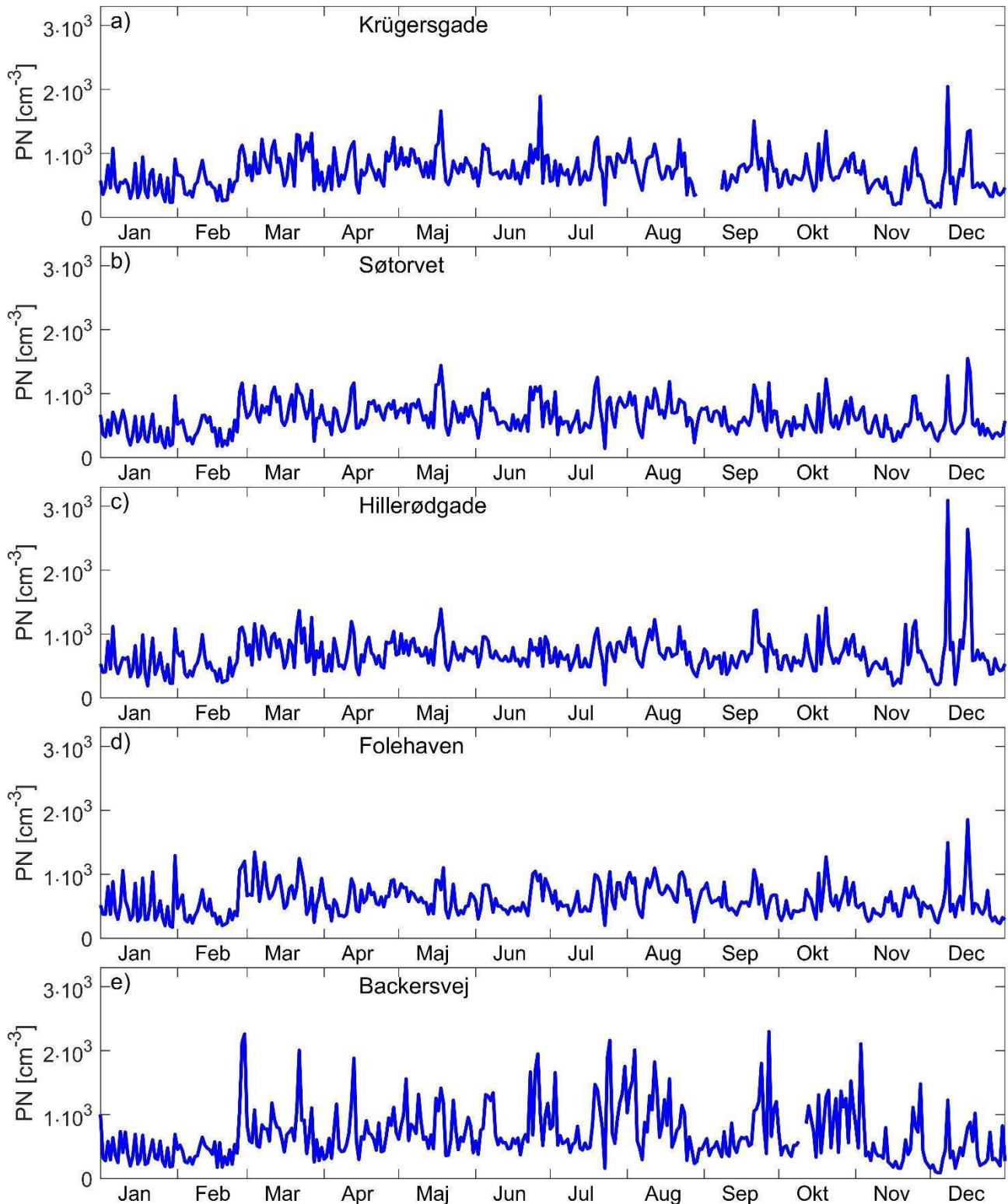
4.3 Partikelantal, PN

Årsmiddel af partikelantalskoncentrationer er præsenteret i Tabel 14 for årene 2020 til 2022. Igen skal det pointeres, at en direkte sammenligning med 2020 ikke er mulig, da målingerne kun dækker de sidste 3-4 måneder af 2020. For 2020 og 2021 observeredes de højeste årsmiddelkoncentrationer på Folehaven og Hillerødgade, hvilket indikerer at emissioner fra lokal trafik har spillet en rolle i den sammenhæng. Billedet for 2022 forekommer anderledes med de højeste årsmiddelværdier observeret på Krügersgade (7100 per cm³) og Backersvej (7000 per cm³) efterfulgt af Hillerødgade (6800 per cm³).

Tidsserierne for døgnmiddel partikelantalskoncentrationer kan ses i Figur 4 nedenfor. Der forekommer en betydelig korrelation mellem tidsserierne, hvor tidsserien for Backersvej er den som afviger mest fra de andre. Det er særligt i sommerhalvåret at døgnmiddelkoncentrationerne er forhøjede på Backersvej. I afsnittene 5.2 og 5.3 nedenfor præsenteres de gennemsnitlige variationer over døgnnet, og mulige kilder til PN på Backersvej diskuteres i den sammenhæng.

Tabel 14. Årsgennemsnit for PN målt på de fem målestationer i for 2020 til 2022. Bemærk, at måleperioden i 2020 kun dækker det sidste kvartal, hvilket gør en direkte sammenligning vanskelig. Det målte partikelantal gælder for partikler i størrelsesområdet 7-1000 nm.

PN	Krügersgade	Søtorvet	Hillerødgade	Folehaven	Backersvej
	antal/cm ³				
2020	5400	5600	6300	7400	5300
2021	6200	6400	7000	7600	5600
2022	7100	6300	6800	6000	7000



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.

Der findes ikke grænseværdier eller klare retningslinjer for acceptable niveauer af PN. WHO beskriver dog, at døgnmiddelværdier overstigende 10.000 cm⁻³ og timemiddelværdier overstigende 20.000 cm⁻³ kan betragtes som høje¹⁴. I Tabel 15 er antallet af døgnmiddelværdier overstigende 10.000 cm⁻³ opgjort til at være fra 24 til 74 i løbet af 2022. Det er bemærkelsesværdigt, at Backersvej ligger i top med 74 forhøjede døgnmiddelværdier efterfulgt af Krügersgade med 47 forhøjede døgnmiddelværdier i løbet af 2022. På målestationerne Folehaven og Hillerødgade, der eksponeres for større lokal trafikintensitet, blev observeret henholdsvis 24 og 34 forhøjede døgnmiddelværdier for PN. Der har i 2022 sandsynligvis været nogle betydelige kilder til PN på Backersvej og Krügersgade, som formentlig ikke har været stærkt koblet til lokal vejgående trafik. På Backersvej har der i 2022 ikke været en forøgelse i den lokale vejgående trafik. Fra det tidligere forår frem til det sene efterår 2022 var der vejarbejde på Backersvej med en reduceret trafikmængde til følge. Så trafikmængden har højst sandsynligt været mindre på Backersvej i en stor del af 2022 i forhold til tidligere år.

Det er ikke klart, hvilke forhold, der har ændret på rangordningen mellem målestationerne hvad angår PN. Sammenholdt med de målte værdier for PN i 2021 virker det sandsynligt, at nogle lokale forhold særligt nær målestationen på Backersvej har ændret sig. Disse lokale forhold kan i vinterhalvåret være øget anvendelse af brændeovne, og i sommerhalvåret måske være koblet til madlavning og fx øget anvendelse af udendørs grill nær målestationen. Generelt vil en mere detaljeret dataanalyse i relation til de lokale meteorologiske forhold være påkrævet for at få større indblik i de mulige ændringer i lokale kilder til PN på samtlige målestationer.

Tabel 15. Døgn med forhøjede middelværdier af partikelantalskoncentration (PN) for 2022.

Parameter	Parameter	Krügersgade	Søtorvet	Hillerødgade	Folehaven	Backersvej
PN	Antal døgnmiddelværdier overstigende 10000 cm ⁻³	47	32	34	24	74
PN	Måledøgn	356	365	365	365	363
Andel	Døgn m. forhøjet PN	13%	9%	9%	7%	20%

¹⁴ WHO: WHO global air quality guidelines, 2021.

4.4 Black Carbon, BC

Koncentrationen af black carbon kan betragtes som et mål for sodpartikler. Black carbon måles på Folehaven og Backersvej, men ikke på de resterende tre målestationer. Black carbon, som kan tilskrives emissioner fra forbrænding af fossile brændsler, herunder fra trafikken, benævnes BC_{FF} . Black carbon, der kan tilskrives afbrænding af biomasse benævnes BC_{WB} . Målingerne af BC på Folehaven afspejlede i 2022 gennemgående de forventede koblinger til trafik, brændeovne og langtransport, men i store dele af 4. kvartal forekom de målte koncentrationer for lave. Der blev ikke konstateret nogen fejl på måleinstrumentet i perioden, så det er uklart hvad årsagen er. Det har vist sig muligt at opnå gode estimater for BC koncentrationen på Folehaven ud fra en simpel model baseret på andre måleparametre. Problemerne vedrørende målingerne samt udviklingen af modellen er beskrevet nærmere i Bilag D. I afrapporteringen nedenfor af BC, BC_{WB} og BC_{FF} i 4. kvartal, 2022 på Folehaven indgår model-estimer i stedet for målinger, da model-estimerne anses for mere retvisende for store dele af 4. kvartal.

I Tabel 16 præsenteres årsmiddelværdier for BC, BC_{FF} og BC_{WB} . Årsmiddel BC er større på Folehaven ($0,94 \mu\text{g}/\text{m}^3$) end på Backersvej ($0,51 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Niveaue af BC_{WB} er lidt større på Folehaven ($0,34 \mu\text{g}/\text{m}^3$) i forhold til Backersvej ($0,21 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mens BC_{FF} er betydeligt større på Folehaven ($0,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) i forhold til Backersvej ($0,30 \mu\text{g}/\text{m}^3$). 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.

I Tabel 17 præsenteres årsmiddel for BC for perioden 2020 til 2022, hvor tallene for 2020 dog kun repræsenterer årets sidste 3-4 måneder. Dermed kan tallene fra 2020 ikke sammenlignes direkte med årsmiddel for 2021 og 2022. Fra 2021 til 2022 forekommer årsmiddel BC uændret på Backersvej omkring $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mens en reduktion fra $1,1$ til $0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ blev observeret på Folehaven. Det er tænkeligt at de lokale emissioner af BC fra vejgående trafik mindskedes fra 2021 til 2022, hvilket til dels kan skyldes en reduktion i antallet af ældre dieseldrøjetøjer. I takt med at bilparken fornyes og flere miljøzoner indføres i København kan det forventes at BC-emissioner fra vejgående trafik reduceres.

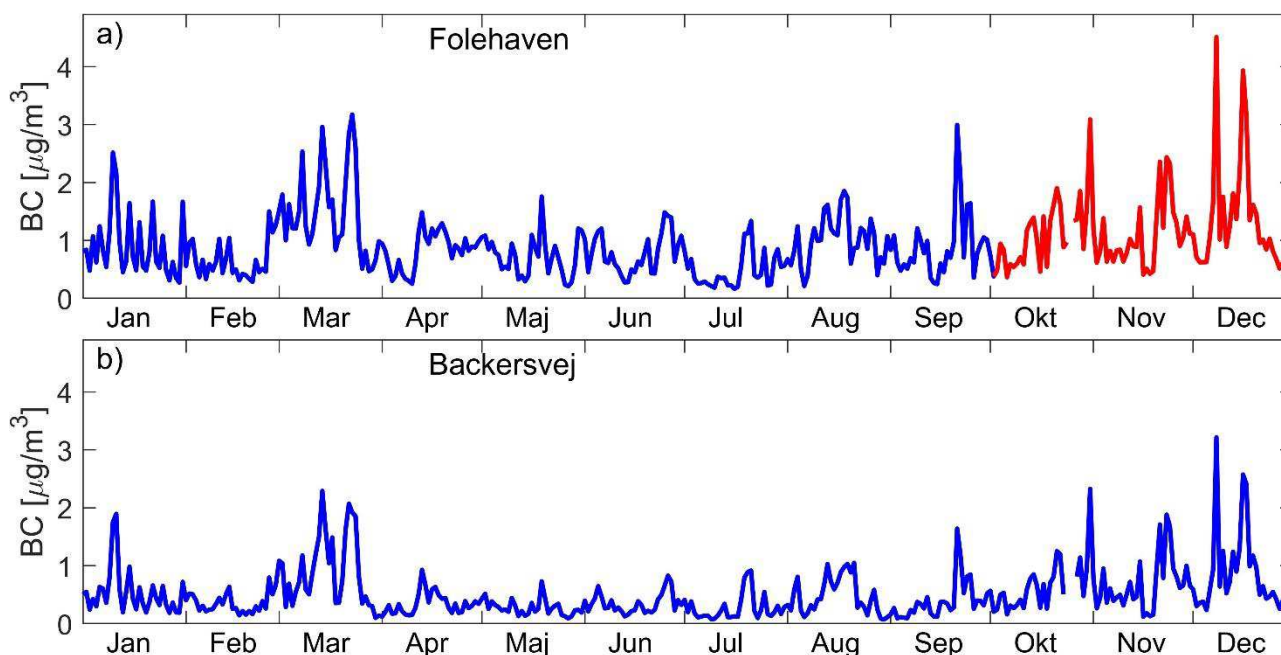
Tabel 16. Årsmiddelværdier i 2022 for BC samt BC_{WB} , der estimeres relateret til afbrænding af hhv. biomasse (BC_{WB}) og fossile brændsler (BC_{FF}). BC måles på Folehaven og Backersvej men ikke på de resterende tre målestationer. Bemærk at modelresultater for 4. kvartal indgår i årgennemsnittene på Folehaven.

Parameter	Periode	Folehaven	Backersvej
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
BC	Målt årsmiddelværdi	0,94	0,51
BC_{WB}	Målt årsmiddelværdi	0,34	0,21
BC_{FF}	Målt årsmiddelværdi	0,60	0,30

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

BC	Krügersgade	Søtorvet	Hillerødgade	Folehaven	Backersvej
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
2020	-	-	-	1,4	0,7
2021	-	-	-	1,1	0,5
2022	-	-	-	0,9	0,5

I Figur 5 præsenteres tidsserierne for døgnmiddel BC, mens kvartalsmiddel for BC, BC_{FF} og BC_{WB} præsenteres i Tabel 18. Det skal bemærkes, at BC koncentrationen i 4. kvartal på Folehaven er baseret på modelresultater (se Bilag D for yderligere detaljer). Det kan af Figur 5 ses, at der er en betydelig korrelation mellem BC målt på Folehaven og Backersvej for hele året. Det er der formentlig flere årsager til, og i det følgende præsenteres to mulige årsager. 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 højst 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.



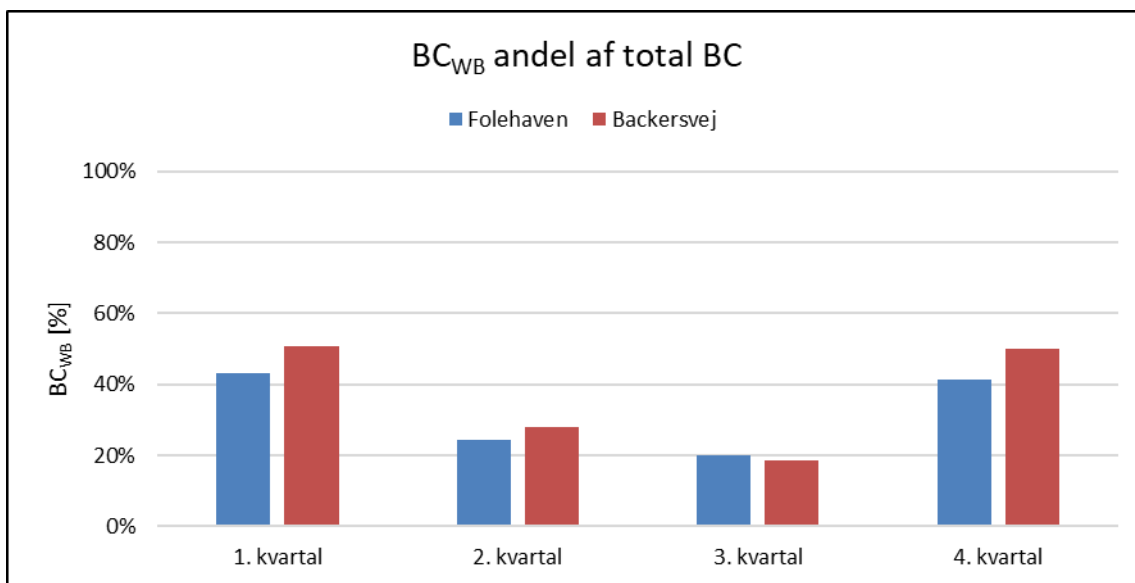
Figur 5. Døgnmiddelværdier for black carbon (BC) på Folehaven og Backersvej i 2022. Gab i tidsserierne skyldes kalibrering, vedligeholdelse eller reparation af måleinstrumenter. Koncentrationen i 4. kvartal på Folehaven (røde kurve) er baseret på modelresultater og ikke på direkte målinger. Målingerne vises i Figur 15.

BC fra brændeovne bør bidrage til BC_{WB} , og det må forventes at de lokale emissioner typisk vil være højst når temperaturerne er lave i løbet af vinterhalvåret. Det understøttes af kvartalsgennemsnittene i Tabel 18. Der er en markant årstidsvariation i BC_{WB} med de højeste koncentrationer i vinterhalvåret på begge målestationer. Årstidsvariationen for BC_{WB} ses også tydeligt i andelen af BC_{WB} i forhold til BC. Den andel præsenteres

på kvartalsbasis i Figur 6 og maksimum observeres i vinterhalvåret, mens BC_{WB} udgør en betydelig mindre andel af BC i sommerhalvåret. Niveaue af BC_{FF} er nogenlunde konstant for de forskellige kvartaler for hver af målestationerne.

Tabel 18. Gennemsnitlige koncentrationer af BC, BC_{WB} og BC_{FF} for kvartaler fra henholdsvis Folehaven og Backersvej i 2022. Værdierne for 4. kvartal på Folehaven er markeret med fed skrift, da de er baseret på modelresultater og ikke direkte målinger. Måleresultaterne vises i Tabel 24 i Bilag D.

2022	Folehaven			Backersvej		
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	BC	BC_{WB}	BC_{FF}	BC	BC_{WB}	BC_{FF}
1. kvartal	1,02	0,44	0,58	0,61	0,31	0,30
2. kvartal	0,78	0,19	0,59	0,32	0,09	0,23
3. kvartal	0,80	0,16	0,64	0,38	0,07	0,31
4. kvartal	1,16	0,48	0,67	0,72	0,36	0,36



Figur 6. Kvartalsvis fordeling af forholdet mellem black carbon forbundet med afbrænding af biomasse (BC_{WB}) og total black carbon (BC), målt på Folehaven og Backersvej i 2022. Værdien for 4. kvartal på Folehaven er baseret på modelresultater. Måleresultaterne for 4. kvartal kan ses i Tabel 24 i Bilag D.

5 Variationer i luftkvalitet

5.1 Episoder med forringet luftkvalitet

Der observeres en markant variabilitet i døgnmiddel for de målte luftkvalitetsparametre (NO_2 , $\text{PM}_{2,5}$, PN og BC), hvilket fremgår af Figur 2 til Figur 5. I dette afsnit fokuseres på to episoder med nogle af de højeste koncentrationer af de målte luftkvalitetsparametre. Formålet er at undersøge hvilke forhold, der kan medføre særlig forringet luftkvalitet i København. Døgnmiddelværdier for NO_2 (Figur 2), $\text{PM}_{2,5}$ (Figur 3) og BC (Figur 5) og til dels PN (Figur 4) antager samtidigt nogle af de højest målte værdier omkring 20.-25. marts og igen omkring 16.-17. december i 2022 på flere eller alle målestationer.

5.1.1 Episoden omkring 20.-25. marts

I Figur 7 nedenfor præsenteres timemiddelværdier for NO_2 , $\text{PM}_{2,5}$, PN, BC samt vindhastighed og lufttemperatur for København i perioden 19/3 til 26/3. De meteorologiske data er fra DMI. Der faldt ingen nedbør i perioden. D. 19/3 var en lørdag. Episoden med forringet luftkvalitet omkring 20. til 25. marts er karakteriseret ved årets højeste niveau af døgnmiddel $\text{PM}_{2,5}$ (Figur 3) på samtlige målestationer, mens der samtidig observeres nogle af årets højeste døgnmiddelværdier for NO_2 (Figur 2) og BC (Figur 5). Døgnmiddel PN udviser relativt høje niveauer i perioden uden dog at antage maksimum på nogen af målestationerne.

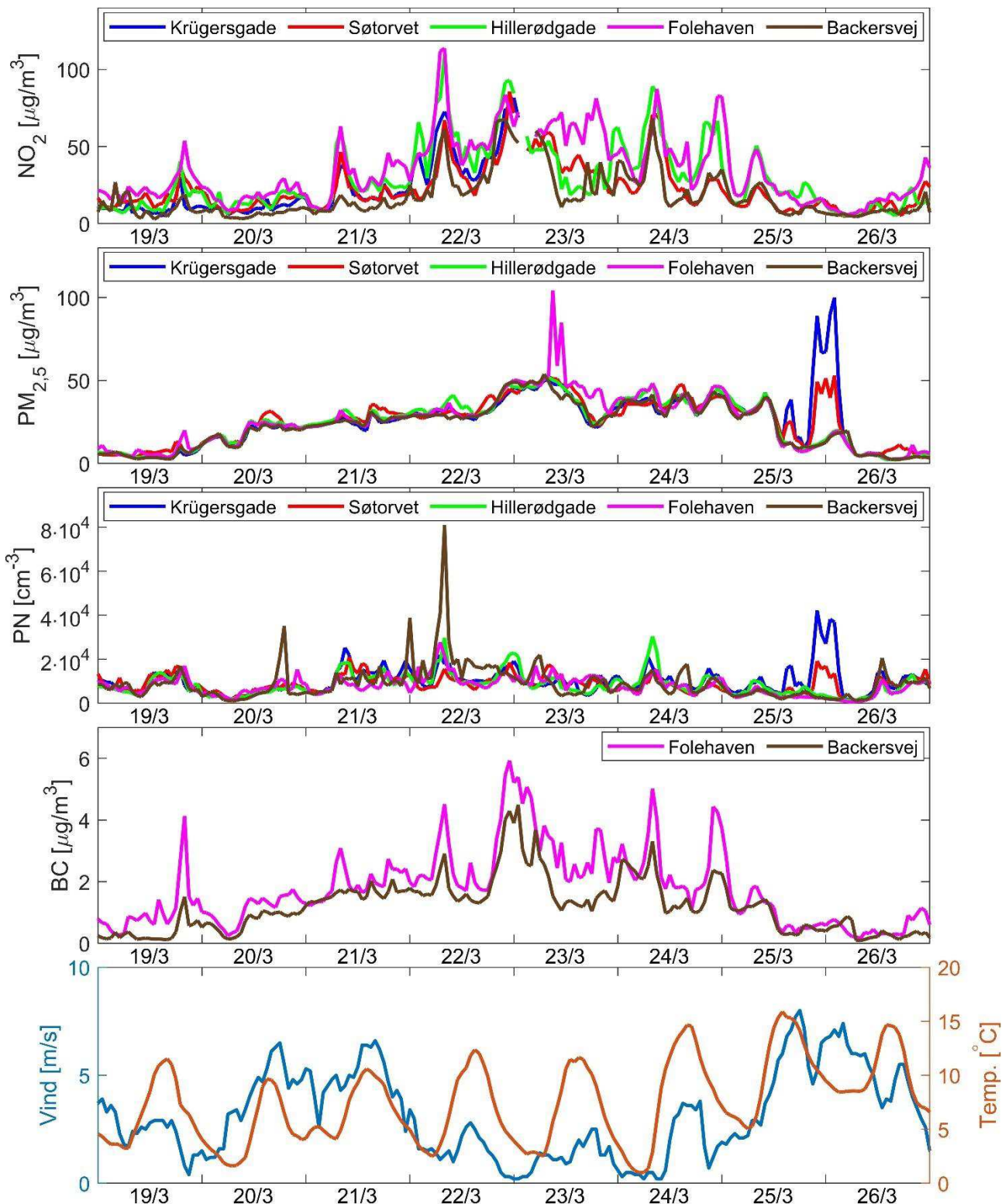
Det kan af Figur 7 ses, at niveauerne for NO_2 , $\text{PM}_{2,5}$, og BC gradvist øges fra 19/3 og frem mod natten mellem 22/3 og 23/3, hvor nogle af de højeste niveauer observeres på samtlige målestationer. Efterfølgende forbliver niveauerne forhøjede frem til d. 25/3. Særligt for $\text{PM}_{2,5}$ og BC observeres for hovedparten af perioden en høj korrelation og ensartede niveauer på alle målestationerne, hvilket indikerer at helt lokale kilder ikke kan forklare de forhøjede niveauer.

Historikken for luftmasserne ankommende til København i perioden 19/3 til 26/3 er blevet modelleret med onlinemodellen HYSPLIT, og resultaterne vises i Figur 16. Luftmasserne ankommende d. 19/3 har haft en historik over Nordatlanten og Norden inden ankomst til København. For døgnene 20/3 til og med 22/3 har luftmasserne haft en historik over det europæiske kontinent inden ankomst til København. Fra d. 23/3 og frem til d. 26/3 har luftmasserne typisk en historik vest til nord for København inden ankomst.

Baseret på de beskrevne observationer forekommer det meget sandsynligt at den forringede luftkvalitet i perioden 20/3 til 23/3 til dels skyldes lang-transport af forurenede luftmasser fra det europæiske kontinent. Det kan fra det nederste panel i Figur 7 ses, at den lokale vindhastighed i København har været lav (0-3 m/s) d. 22/3, d. 23/3 og den første del af d. 24/3. Altså har der i denne periode været relativ lille luftudskiftning omkring målestationerne, hvilket øger indflydelsen fra trafikken og øvrige lokale kilder. Dette er en medvirkende forklaring til de fortsat forhøjede forureningsniveauer frem til d. 25/3. Der observeres i perioden større variation i den målte NO_2 mellem målestationerne i forhold til de andre luftkvalitetsparametre. Dette indikerer at lokale kilder til NO_2 har bidraget til de forhøjede niveauer, og ved lave vindhastigheder vil de lokale emissioner ikke blive effektivt fortyndet og/eller borttransporteret.

For perioden afbildet i Figur 7 nedenfor kan observeres nogle markante forøgelse af $\text{PM}_{2,5}$ og PN på Søtorvet og særligt på Krügersgade over nogle timer omkring midnat mellem d. 25/3 og d. 26/3. D. 25/3 om eftermiddagen opstod en større brand i et boligkompleks på Grøndals Parkvej i Vanløse. Ifølge DMI kom vinden fra vest til vest-nordvest den pågældende aften. Krügersgade er placeret ca. 2 km øst for Grøndals Parkvej, mens Søtorvet ligger små 4 km øst for Grøndals Parkvej. Det giver dermed god mening, at de

største forøgelser i PM_{2,5} og PN observeredes på Krügersgade i sammenligning med Søtorvet. Det giver også mening, at der ikke observeredes et tilsvarende signal på de andre målestationer, der ligger mere nordligt (Hillerødgade) eller sydligt (Folehaven, Backersvej). Temperaturen omkring branden har tilsyneladende ikke været tilstrækkelig høj til signikant dannelse af NO_x, da der ikke observeres samtidige forøgelser i hverken NO₂ eller NO koncentrationen målt på Søtorvet. Der er ikke NO_x data fra Krügersgade for de pågældende døgn. Lokationer beliggende nærmere branden på Grøndals Parkvej har forventeligt været eksponeret for markant højere niveauer af PM_{2,5} og PN end der blev observeret på Krügersgade og Søtorvet. Der har forventeligt også været stærkt forhøjede niveauer af BC, CO og andre luftforureningskomponenter.



Figur 7. Timemiddel-tidsserier for luftkvalitetsparametrene NO₂, PM_{2,5}, PN og BC samt vindhastighed og temperatur for en periode med forringet luftkvalitet i marts, 2022. I det nederste panel ses skalaen for den turkise vind kurve på den venstre akse, mens skalaen for temperaturkurven ses på den højre akse.

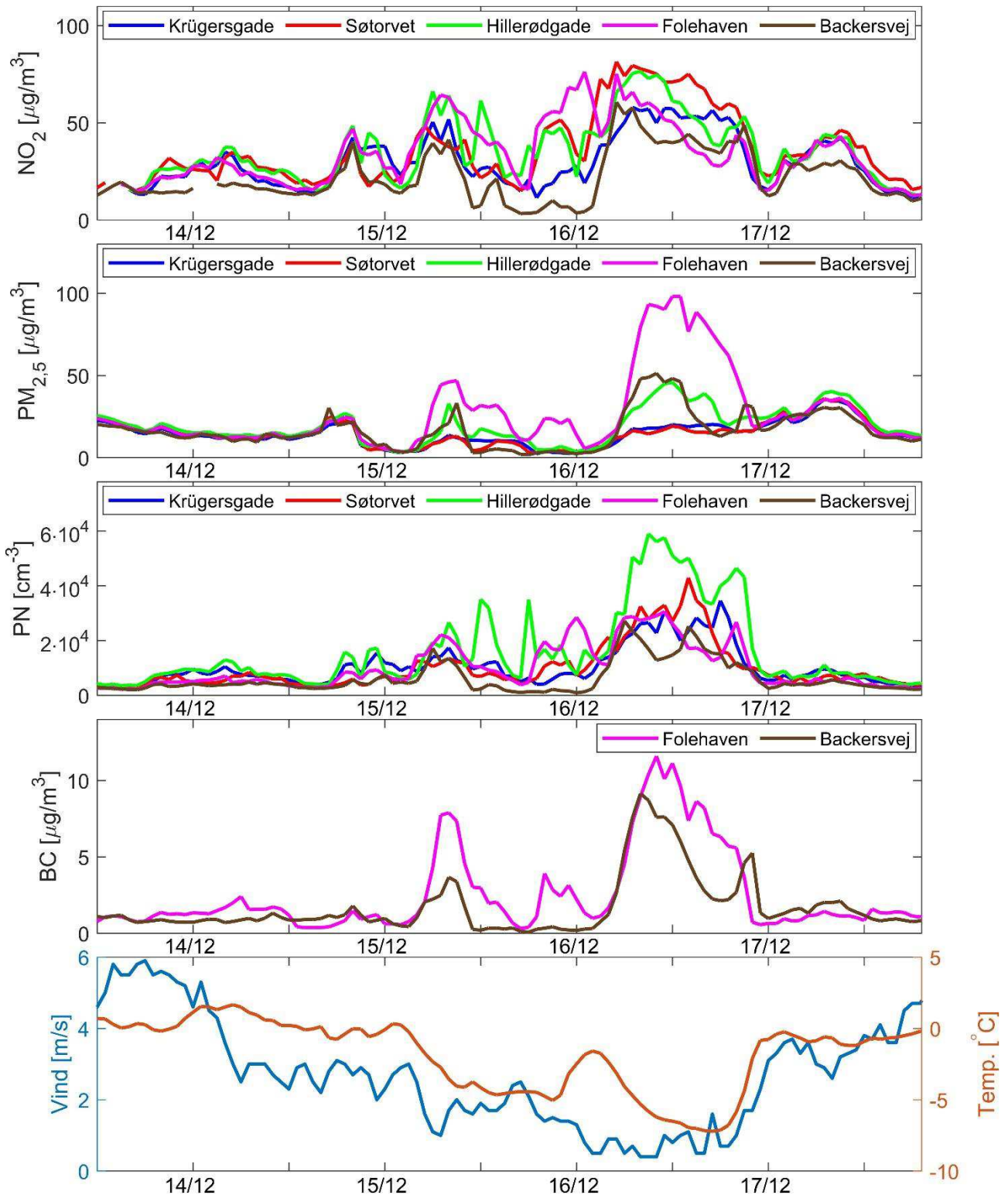
5.1.2 Episoden omkring 16.-17. december

I Figur 8 vises timemiddelværdier for NO₂, PM_{2,5}, PN, BC samt vindhastighed og lufttemperatur for København i perioden 14/12 til 18/12. De meteorologiske data er fra DMI, og for denne periode var der ikke nedbør, med undtagelse af <1 mm, der faldt tidlig morgen d. 15/12. Episoden med forringet luftkvalitet omkring 16.-17. december er karakteriseret ved et af årets højeste niveauer af døgnmiddel BC på både Backersvej og Folehaven (Figur 5) og årets højeste niveau af døgnmiddel NO₂ målt på Søtorvet (Figur 2). D. 16/12 var en fredag. Generelt observeres forhøjede niveauer af de målte luftkvalitetsparametre på de fleste målestationer, men der ses betydelig spredning mellem målestationerne. Omkring midnat mellem d. 16/12 og d. 17/12 ses fx moderat forhøjede niveauer af PM_{2,5} på Krügersgade og Søtorvet på ca. 20 µg/m³ (Figur 8). På samme tidspunkt observeres PM_{2,5} koncentrationer omkring 40 µg/m³ på Hillerødgade og Backersvej, mens der på Folehaven observeres koncentrationer nær 100 µg/m³.

Historikken for luftmasserne ankommende til København i perioden 14/12 til 18/12 er blevet modelleret med onlinemodellen HYSPLIT, og resultaterne vises i Figur 17. Luftmasserne ankommende d. 14/12 har haft en historik vest for København inden ankomst. Luftmasserne ankommende det meste af d. 15/12 og 16/12 har forinden haft en historik over Skandinavien – og det kan i nederste panel af Figur 8 ses at temperaturen hovedsageligt falder i den periode fra omkring 0°C og ned mod -7°C i løbet af natten mellem d. 16/12 og 17/12. For sidste halvdel af 16/12 og første halvdel af 17/12 observeres lave lokale vindhastigheder omkring eller under 1 m/s.

Den forringende luftkvalitet natten mellem d. 16/12 og 17/12 er altså sammenfaldende med (i) luftmasser med en historik over Skandinavien, (ii) lave temperaturer og (iii) lave lokale vindhastigheder. Det kan altså forventes, at et stort antal lokale brændeovne har været i intensiv brug og samtidig har der været meget beskeden luftudskiftning. Det er muligt, at der kan være forekommet en temperaturinversion i de nederste atmosfæriske lag over København således at luftmasserne nær jordoverfladen er forblevet stabilt og uden opblanding nær jordoverfladen. De markante forskelle i PM_{2,5} observeret mellem målestationerne indikerer at lokale kilder har haft stor betydning. Det forekommer altså sandsynligt, at den lokale luftforurening fra brændeovne har været forøget, og at den lokale forurening ikke har kunnet blive fjernet eller fortyndet effektivt i løbet af natten.

Resultaterne præsenteret ovenfor omkring episoder med forringet luftkvalitet illustrerer, at visse meteorologiske forhold i høj grad kan medvirke til at mindske luftkvaliteten i København. Det kan fx være i form af (i) langtransport af luftforurening, (ii) reduceret lokal luftudskiftning, og (iii) kulde, der medfører øget brug af brændeovne. Der er dog ofte en forholdsvis effektiv luftudskiftning i København, og nedbør medvirker også til at udvaske luftforurening. Så visse meteorologiske forhold kan også medvirke til meget lave niveauer af luftforurening.



Figur 8. Timemiddel-tidsserier for luftkvalitetsparametrene NO₂, PM_{2,5}, PN og BC samt vindhastighed og temperatur for en periode i december, 2022. I det nederste panel ses skalaen for den turkise vind kurve på den venstre akse, mens skalaen for temperaturkurven ses på den højre akse. BC på Folehaven er modelresultater, men for den viste periode afviger de ikke markant fra måleresultaterne.

5.2 Luftkvaliteten på hverdage

I Figur 9 præsenteres timemiddelværdier for NO₂, PM_{2,5}, PN og BC som gennemsnit for ugedagene mandag til og med fredag. Hvis lokal vejgående trafik er en betydelig kilde til de målte luftkvalitetsparametre, så bør der altså kunne observeres en korrelation med trafikintensiteten. 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 NO₂, PM_{2,5}, PN og BC på samtlige målestationer omkring kl. 7 om morgenen på hverdage, hvilket indikerer at morgentrafikken kan bidrage til alle fire luftkvalitetsparametre. For NO₂ ses de højeste morgenkoncentrationer på Folehaven og Hillerødgade, der forventes at blive eksponeret for relativt højere trafikintensitet. De laveste morgenkoncentrationer af NO₂ observeres på Backersvej. Disse observationer understøtter at niveauet af NO₂ er stærkt koblet til den lokale trafikintensitet.

Forskellene i PM_{2,5} koncentrationerne på hverdagsmorgener er noget mindre mellem målestationerne, end hvad der observeres for NO₂. Der ses dog de højeste PM_{2,5} koncentrationer på Folehaven og Hillerødgade og den laveste koncentration på Backersvej. Hvis forskellene kan tilskrives forskelle i den lokale trafikintensitet, så medfører det forskelle i koncentrationen af PM_{2,5} i omegnen af 1 µg/m³ 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.

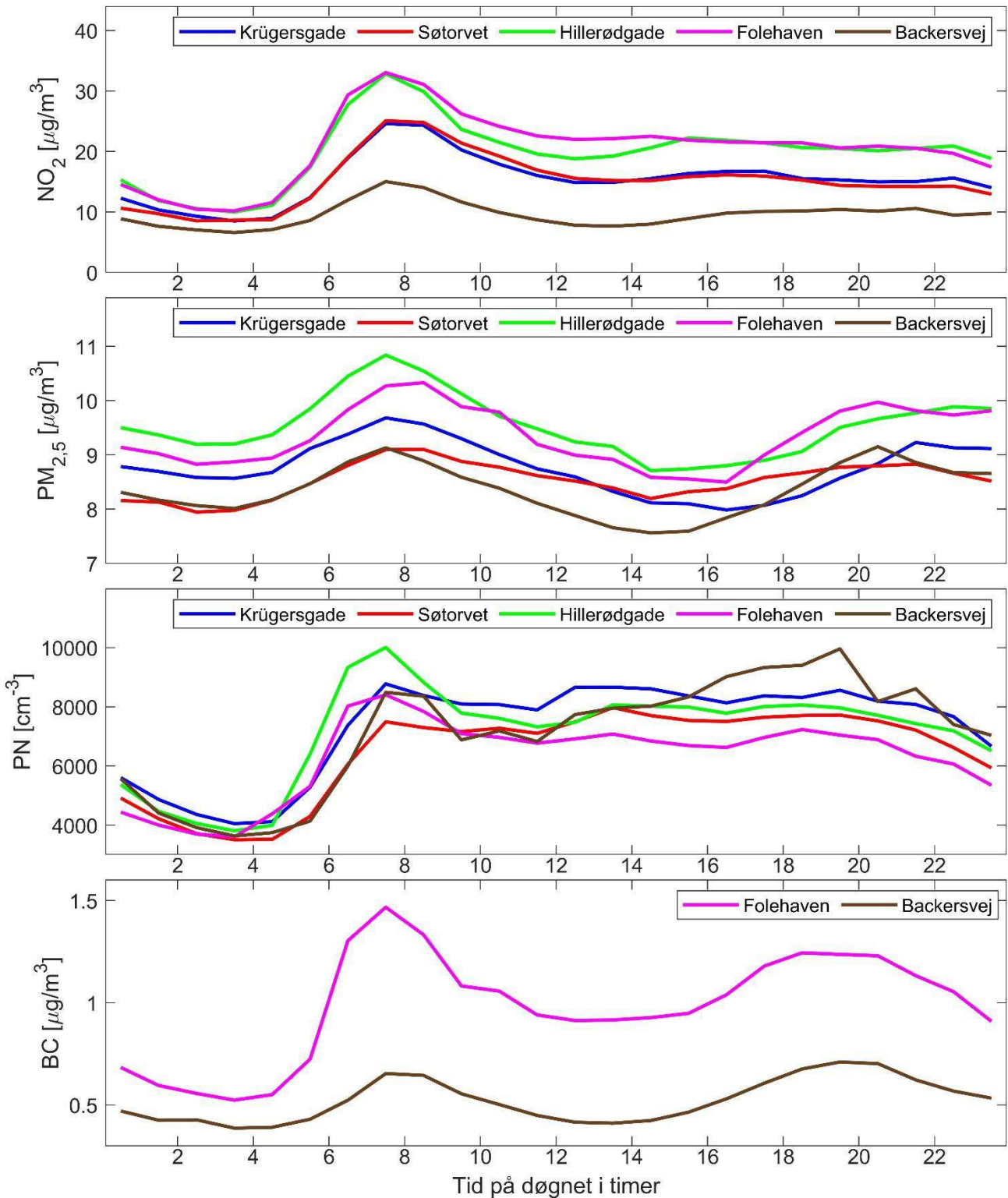
Partikelantalskoncentrationen udviser også forhøjede værdier på hverdagsmorgener, men rangordningen mellem målestationerne afspejler, at den lokale trafikintensitet ikke forekommer lige så dominerende som fx observeret for NO₂.

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 altså observeres markante koblinger til den lokale trafikintensitet for NO₂ og BC, og mere beskedne koblinger til den lokale trafikintensitet for PM_{2,5} baseret på observationerne 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 NO₂, PM_{2,5} og BC på hverdageftermiddage. Udeblivelsen af en tydelig korrelation med eftermiddagsmyldretrafikken kan formentlig til dels skyldes 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

præsenteret i Figur 9 illustrerer dermed bl.a. de kombinerede effekter af (i) omfanget af lokale emissioner, og (ii) grænselagsdynamik og højden af det atmosfæriske grænselag.

Udover koblinger til den lokale trafikintensitet og grænselagsdynamik så er det i Figur 9 iøjnefaldende, at PN på Backersvej antager et maksimum på hverdage omkring kl. 19, hvilket ikke ses tilsvarende på de andre målestationer. Det er ikke utænkeligt at brændeovnsmissioner kan bidrage til PN koncentrationen særligt om aftenen nær målestationen på Backersvej. Det kan dog ses af Figur 4, at de forhøjede PN koncentrationer på Backersvej mest forekommer i sommerhalvåret. Derfor forekommer det ikke sandsynligt, at brændeovne er den eneste forklaring bag de forhøjede niveauer af PN. Det er ikke klart hvilke kilder, der forårsager de relativt høje niveauer af PN på Backersvej i forhold til de andre målestationer. Det kan dog konkluderes, at de relevante lokale kilder til PN på Backersvej synes at være mest udtalte sidst på eftermiddagen og først på aftenen (kl. 17-20). I det tidsrum er madlavning fx på grill en mulig kandidat, men mere detaljerede undersøgelser vil være nødvendige for en nærmere indkredsning af potentielle kilder.



Figur 9. Gennemsnitlige timemiddelværdier for hhv. NO₂, PM_{2,5}, PN og BC på dagene mandag til og med fredag i 2022. For BC på Folehaven indgår modelresultater for 4. kvartal i gennemsnitsberegningerne.

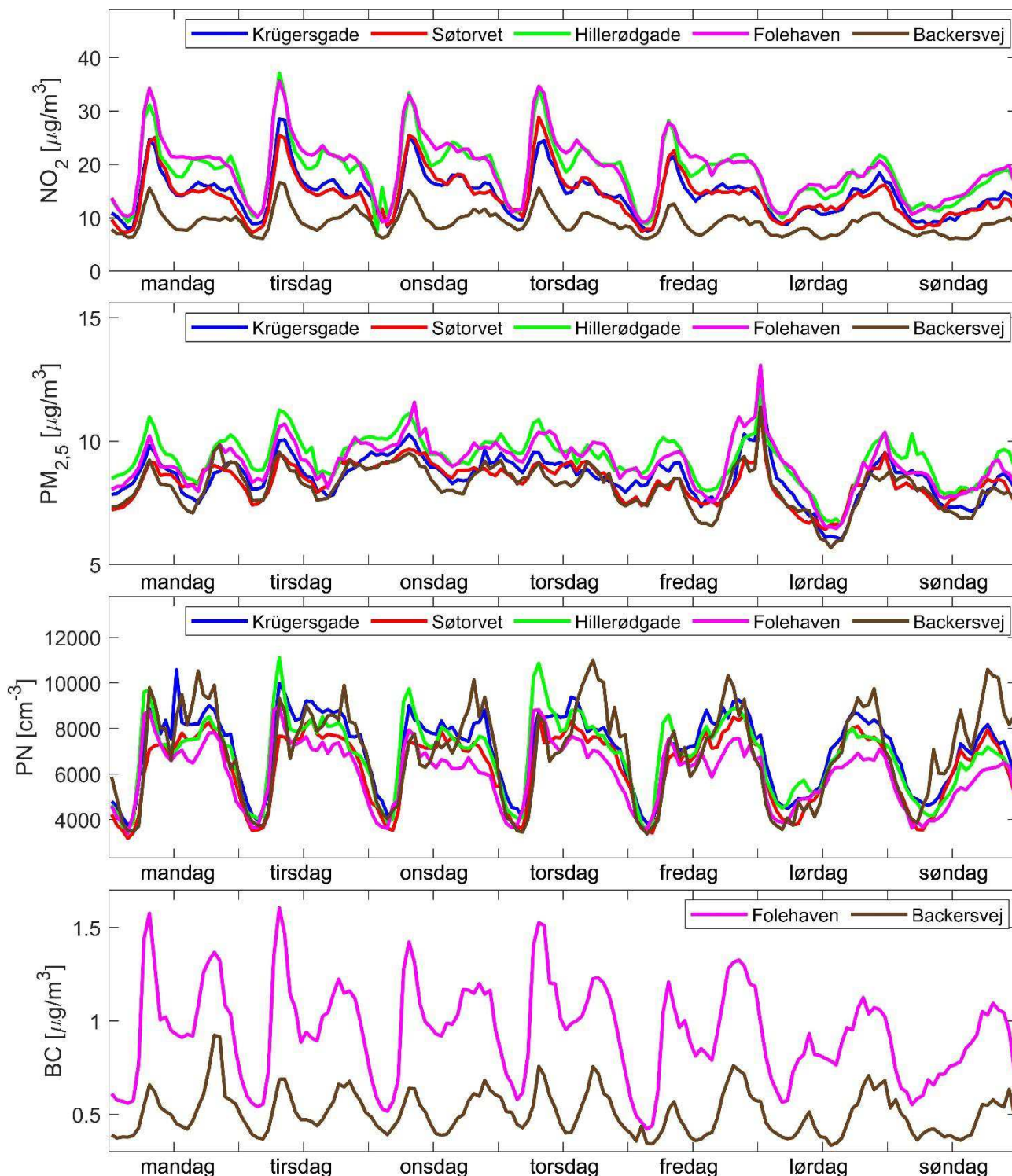
5.3 Sammenstilling af døgnvariationer

I Figur 10 præsenteres timemiddelværdier for NO₂, PM_{2,5}, PN og BC fordelt på ugedage i 2022. For NO₂ 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 Hillerødgade, 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 NO₂ er altså konsistent i forhold til en stærk kobling til den lokale trafikintensitet.

For PM_{2,5} ses i Figur 10 betydelig mindre variabilitet både mellem ugedage og mellem målestationer i forhold til fx NO₂. Denne observation er et resultat af, at den lokale trafikintensitet i mindre grad bidrager til PM_{2,5}. Langtransport er mere styrende for niveauet af PM_{2,5} i København. De markante spidser, der for alle målestationer kan observeres omkring midnat mellem fredag og lørdag skyldes nytårsaften. Affyringen af nytårskrudt ved årsskiftet medfører typisk årets højeste niveauer af PM_{2,5}, hvilket tydeligt kan ses for timemiddelværdierne præsenteret i Figur 12.

For partikelantalskoncentrationen, PN, kan observeres markante forskelle mellem hverdage og weekend i Figur 10. 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. De relative forskelle mellem målestationerne er dog ikke lige så udtalte som for NO₂. Det er dog velkendt, at der i bymiljø er flere andre betydningsfulde kilder til PN end de primære emissioner fra køretøjer.

For BC ses i Figur 10 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 BC. Variationer i BC fra brændeovne er mere udtalte mellem sæsoner end mellem specifikke tider af døgnet.



Figur 10. Gennemsnitlige timemiddelværdier for hhv. NO₂, partikulær masse for partikler med diametre mindre end 2,5 μm (PM_{2,5}), partikelantalskoncentration (PN) og black carbon (BC) fordelt på ugedage. For BC på Folehaven indgår modelresultater for 4. kvartal i gennemsnitsberegningerne.

Bilag A Målemetoder

NO_x (NO og NO₂)

NO₂-koncentrationen bestemmes med en kemiluminiscens monitor (CLD) med indbygget konverter (NO₂ til NO). Måleværdien for NO₂ er differencen mellem de målte værdier for NO_x og NO. Denne målemetode er referencemetoden til luftkvalitetsmålinger af NO_x og NO, der anvendes til bestemmelse af NO₂.

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

Reference: EN 14211

Partikulær masse (svævestøv), PM_{2,5} og PM₁₀

PM_{2,5} og PM₁₀ angiver den masse af de opsamlede 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_{2,5} og PM₁₀ for den optiske målemetode

Tidligere har der på de fem målestationer i Københavns Kommune været anvendt en korrektionsfaktor (K) på 0,91 til PM_{2,5} og PM₁₀ 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_{2,5} og PM₁₀, hvor forholdende på HCAB vurderedes 'almindelige' (2 døgn (8.+9. juni) med omfattende vejarbejde og deraf følgende usædvanlige forureningsforhold er blevet ekskluderet fra analysen). I tillæg udførte FORCE Technology sammenlignende målinger på målestationen i Hillerødgade i april, 2022 – med en total på 5 målepunkter for PM₁₀. Ovennævnte aktiviteter har muliggjort opnåelse af en mere velbestemt korrektionsfaktor til den optiske måler, når instrumentet anvendes i trafikerede miljøer i København. Korrektionsfaktorerne præsenteret nedenfor er blevet anvendt i årsrapporten for 2021 samt til PM_{2,5} i nærværende årsrapportering for 2022.

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

- **For PM_{2,5}:** K_{PM_{2,5}} 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_{2,5} er anvendt i denne rapport.*
- **For PM₁₀:** K_{PM₁₀} er bestemt til 1,03 med en usikkerhed på ± 4.1% på 95% konfidensniveau baseret på 67 målepunkter (62 fra HCAB samt 5 fra Hillerødgade). *Korrektionsfaktoren for PM₁₀ ønskes revideret ved yderligere målinger, dels på andre målestationer, og dels på andre årstider. Det er derfor besluttet, at rapporteringen af PM₁₀ udelades i denne rapport, og at rapporteringen af PM₁₀*

målingerne for 2022 først rapporteres, når der er udført sammenlignende målinger over flere årstidsperioder.

Som nævnt er der blevet rejst spørgsmål ved om PM₁₀-målingerne har været retvisende på alle målestationer og alle årstider. FORCE Technology har iværksat yderligere aktiviteter til nærmere sammenligning mellem den optiske målemetode og referencemetoden. Dette arbejde er planlagt fortsat i større dele af 2023.

FORCE Technology finder ikke at der er grund til at betvivle troværdigheden af PM_{2,5} målt med den optiske metode. For kalenderåret 2021 har det været muligt at sammenligne døgnmiddel PM_{2,5} målt med den optiske metode på de fem københavnske målestationer i forhold til PM_{2,5} målt med referencemetoden på DCE's Københavnske målestationer på Jagtvej, Nørre Allé og HC Andersens Boulevard. Sammenligningsgrundlaget er på ca. 355 PM_{2,5} døgnmiddelværdier i 2021. Sammenligninger mellem målinger af PM_{2,5} på Jagtvej og optisk målt PM_{2,5} på de fem målestationer viser meget ensartede resultater. Korrelationskoefficienterne (r) er på 0,92 til 0,96, og de bedst tilpassede linjer til data-sammenligningen udviser hældninger på 1,0 og skæringer tæt ved origo. Det er forventeligt at ensartede niveauer af PM_{2,5} observeres på forskellige lokationer i København, da langtransport er den dominerende kilde. Den gode overensstemmelse mellem PM_{2,5} målt med henholdsvis referencemetoden og den optiske metode for hele 2021 sammenholdt med den gode overensstemmelse på HC Andersens Boulevard over sommeren 2022 medfører, at troværdigheden af de optiske PM_{2,5} målinger bør anses for høj.

Partikelantal, PN

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

Måleområde (partikelstørrelse): 7 - 1000 nm

Måleområde (partikelantal): op til 10⁷ antal/cm³

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.

Resultaterne fra den multispektrale analyse kan anvendes til estimering af partikulært black carbon fra henholdsvis fossile kilder (BC_{FF}) og afbrænding af biomasse (BC_{WB}).

Måleområde: 0 – 100 µg/m³

Bilag B Datakvalitet og datafangst

Tabel 19 - Tabel 23 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.

Parameter	Datafangst		Minumumskrav til datafangst
	Timeværdier	Døgnværdier	
PM _{2,5}	100%	100%	90%
BC	-	-	75%
PN	98%	98%	75%
NO ₂	97%	98%	90%

Tabel 19. Krügersgade. Datafangst for perioden.

Parameter	Datafangst		Minumumskrav til datafangst
	Timeværdier	Døgnværdier	
PM _{2,5}	100%	99%	90%
BC	-	-	75%
PN	100%	100%	75%
NO ₂	98%	99%	90%

Tabel 20. Sørtorvet. Datafangst for perioden.

Parameter	Datafangst		Minumumskrav til datafangst
	Timeværdier	Døgnværdier	
PM _{2,5}	100%	100%	90%
BC	-	-	75%
PN	100%	100%	75%
NO ₂	98%	99%	90%

Tabel 21. Hillerødgade. Datafangst for perioden.

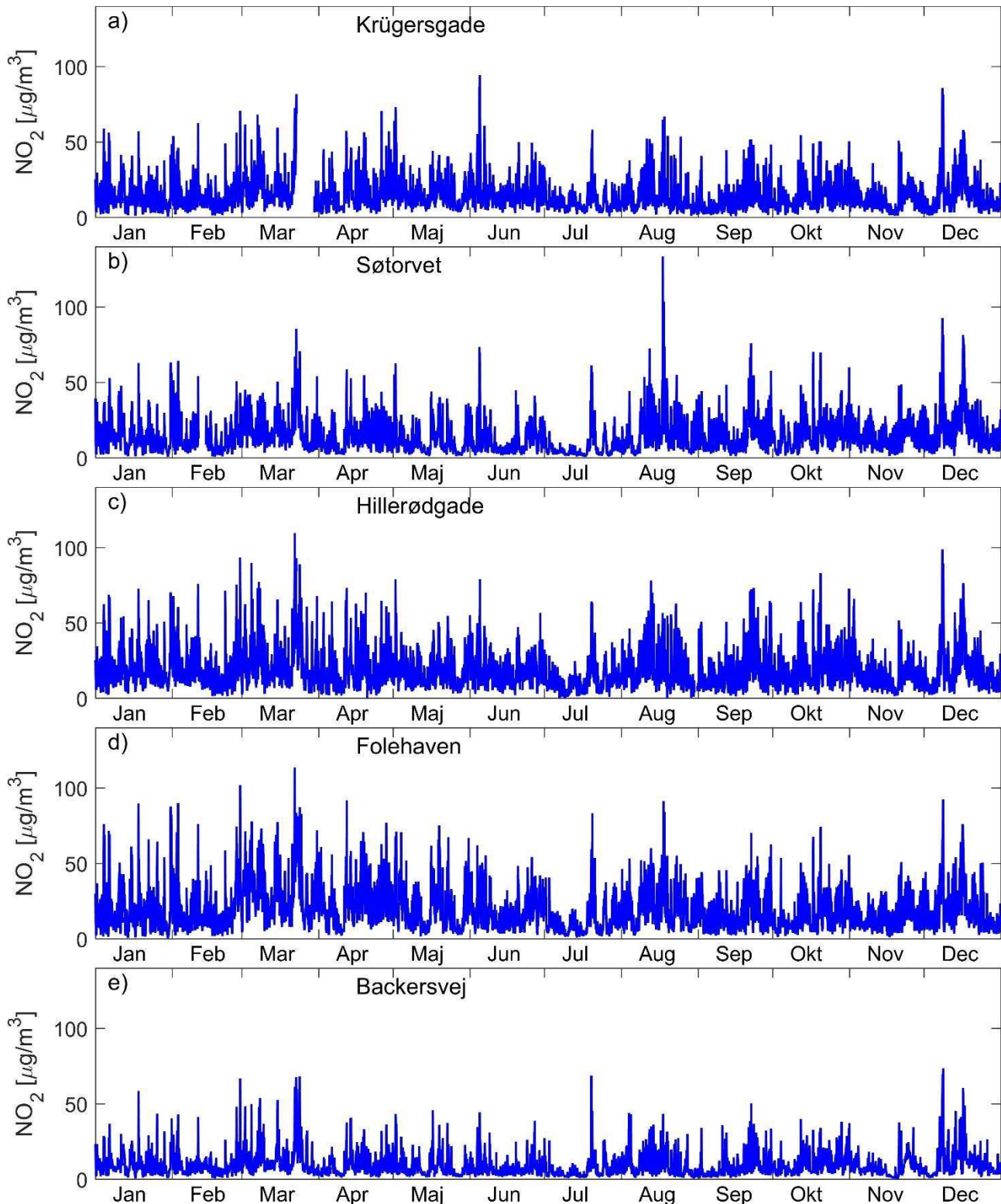
Parameter	Datafangst		Minimumskrav til datafangst
	Timeværdier	Døgnværdier	
PM _{2,5}	100%	100%	90%
BC	100%	100%	75%
PN	100%	100%	75%
NO ₂	99%	100%	90%

Tabel 22. Folehaven. Datafangst for perioden. Datafangsten for BC afspejler perioden hvor måledata er tilgængelige. Det anslås, at 10-20% af BC måledata fra 2022 er for lave (se Bilag D for yderligere information).

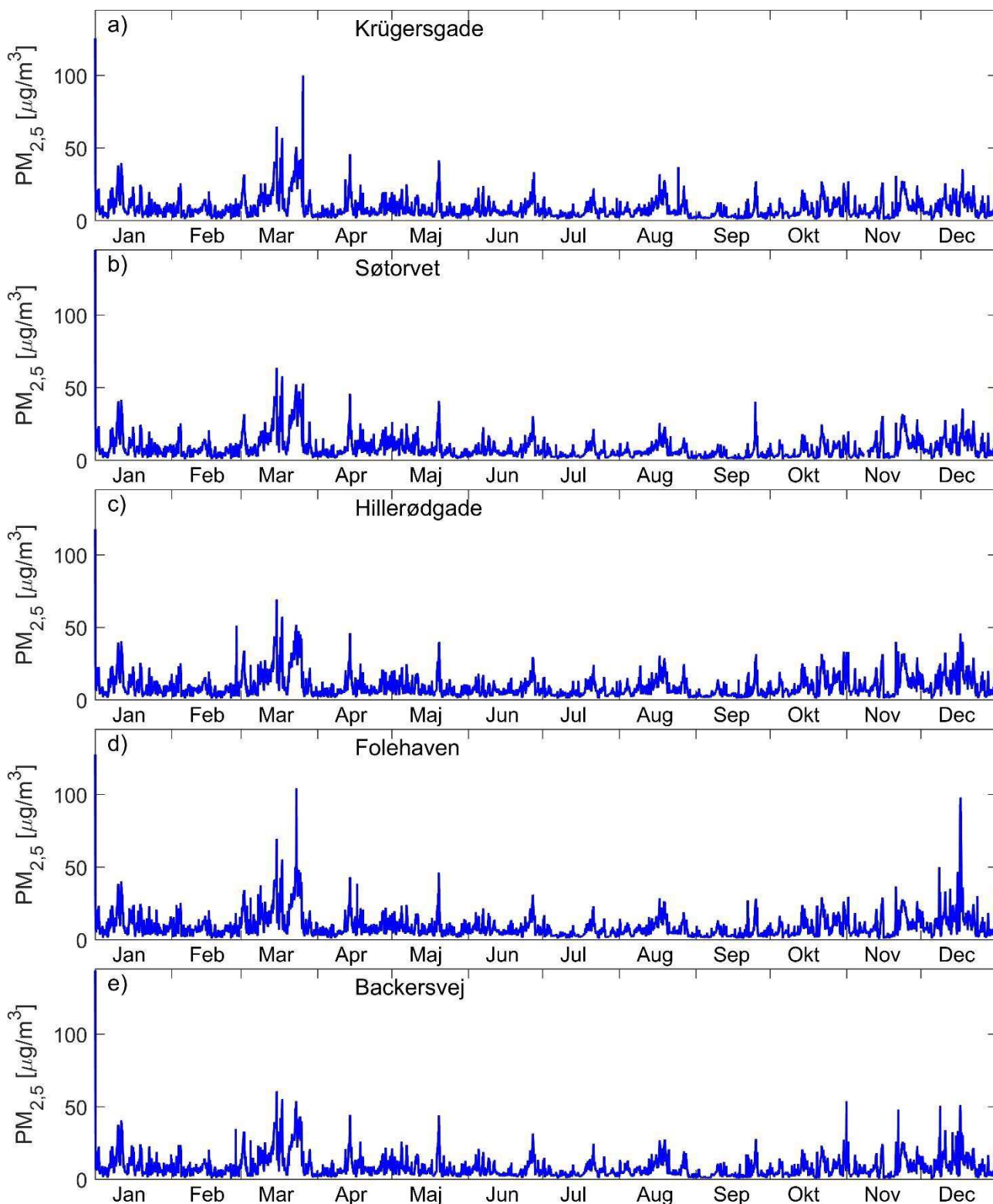
Parameter	Datafangst		Minimumskrav til datafangst
	Timeværdier	Døgnværdier	
PM _{2,5}	100%	100%	90%
BC	99%	99%	75%
PN	100%	99%	75%
NO ₂	99%	100%	90%

Tabel 23. Backersvej. Datafangst for perioden.

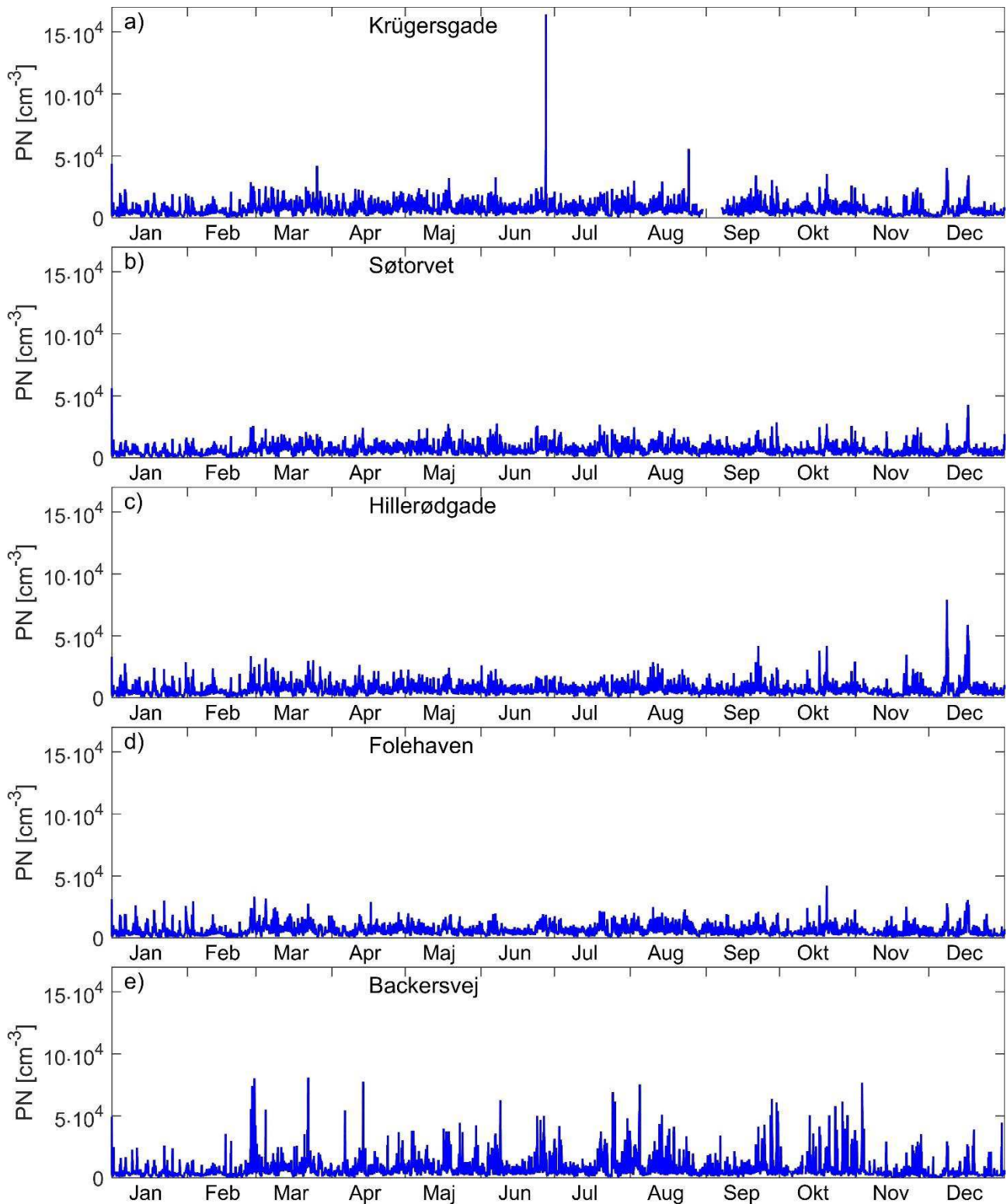
Bilag C Timemiddelværdier for NO₂, PM_{2,5}, PN og BC



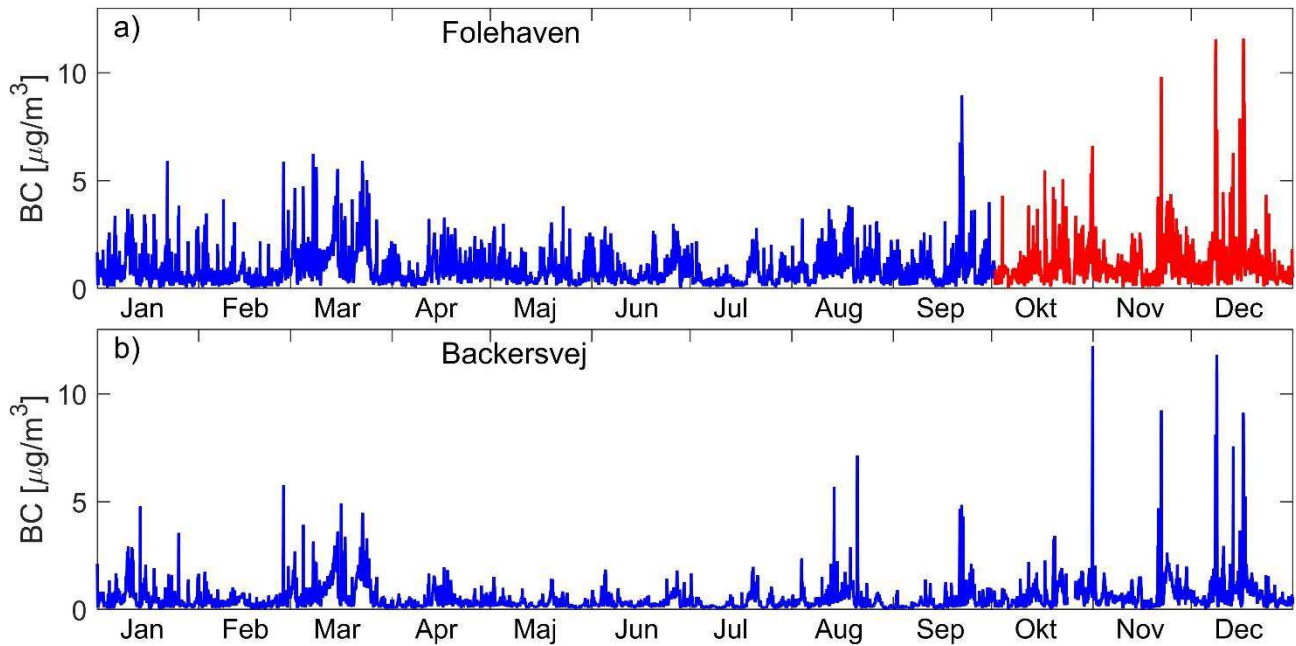
Figur 11. Timemiddelværdier for NO₂. EU's grænseværdi for timemiddel NO₂ er på 200 µg/m³, hvilken ikke kan ses i figuren, da højest målte timemiddel var på 134 µg/m³ i løbet af 2022. Gab i tidsserierne skyldes kalibrering, vedligeholdelse eller reparation af måleinstrumenter.



Figur 12. Timemiddelværdier for $PM_{2,5}$. Gab i tidsserierne skyldes kalibrering, vedligeholdelse eller reparation af måleinstrumenter.



Figur 13. 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.



Figur 14. Timemiddelværdier for Black Carbon (BC). Gab i tidsserierne skyldes kalibrering, vedligeholdelse eller reparation af måleinstrumenter. Den røde kurve i 4. kvartal på Folehaven er baseret på modelresultater (se Bilag D for yderligere detaljer).

Bilag D Modelling af BC på Folehaven

Baggrund og observationer

Der har været nogle udfordringer med målinger af black carbon (BC) på Folehaven i størstedelen af 4. kvartal i 2022. BC koncentrationen varierede med et sædvanligt mønster henover døgnene, med relativt lave koncentrationer om natten, og typisk med de højeste koncentrationer sammenfaldende med den højeste trafikintensitet på Folehaven. Der blev i perioden også observeret sammenfaldende forhøjede værdier af BC på både Folehaven og Backersvej, hvilke kunne tilskrives øgede emissioner fra brændeovne og/eller langtransport. Der har i perioden ikke været konstateret fejl på BC måleinstrumentet på Folehaven. De ovennævnte observationer til trods, så fremstår BC niveauet målt på Folehaven i størstedelen af 4. kvartal af 2022 mistænkeligt lavt, når målingerne ses i en større sammenligning med andre perioder.

Metode

En nærmere undersøgelse af BC-koncentrationen på Folehaven har været udført på baggrund af en simpel model. Der kan for flere andre målte luftkvalitetsparametre observeres betydelige korrelationer med BC målt på Folehaven. Baseret på de observationer, kan det antages, at BC målt på Folehaven i et vist omfang er koblet til koncentrationen af BC målt på Backersvej samt PN, PM_{2,5} og NO₂ målt på Folehaven. Antagelsen er illustreret i ligning (1) nedenfor, hvor mBC_{FH} repræsenterer den modellerede BC på Folehaven. Konstanterne k₁ til k₄ i ligning (1) bestemmes ved hjælp af en iterativ metode, hvor mindste kvadraters afvigelse mellem måle- og modelresultater søges for data fra 2020 og 2021. Efterfølgende er modellen blevet anvendt på måledata fra 2022 til at opnå en tidsserie for modelleret døgnmiddel BC på Folehaven (mBC_{FH}). Tilsvarende er simple modeller for BC_{WB} (mBC_{WB}) og BC_{FF} (mBC_{FF}) på Folehaven blevet udviklet som illustreret i ligningerne (2) og (3) nedenfor.

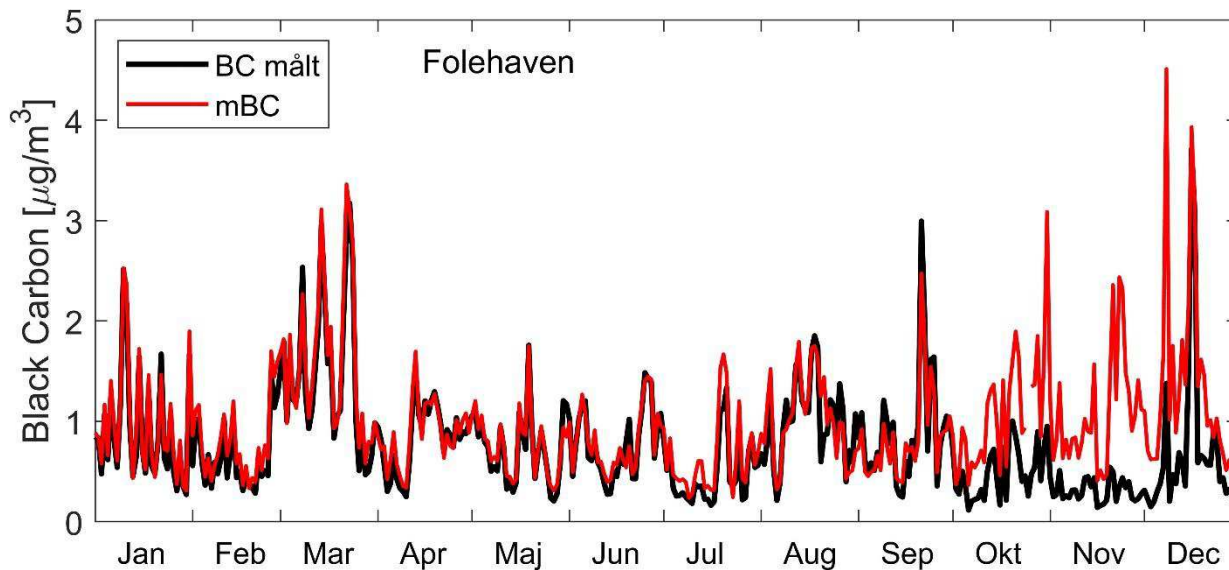
$$mBC_{FH} = k_1 \cdot BC_{BV} + k_2 \cdot PN_{FH} + k_3 \cdot PM_{2,5;FH} + k_4 \cdot NO_{2;FH} \quad (1)$$

$$mBC_{WB,FH} = k_{WB1} \cdot BC_{WB,BV} + k_{WB2} \cdot PN_{FH} + k_{WB3} \cdot PM_{2,5;FH} + k_{WB4} \cdot NO_{2;FH} \quad (2)$$

$$mBC_{FF,FH} = k_{FF1} \cdot BC_{FF,BV} + k_{FF2} \cdot PN_{FH} + k_{FF3} \cdot PM_{2,5;FH} + k_{FF4} \cdot NO_{2;FH} \quad (3)$$

Modelresultater

Den målte og den modellerede tidsserie af døgnmiddel BC på Folehaven i 2022 er begge vist i Figur 15 nedenfor. Der kan observeres en god overensstemmelse mellem målt og modelleret BC frem til 2/10, hvorefter målt BC ofte forekommer mistænkeligt lavt for årstiden, mens modelleret BC typisk ligger på et højere niveau. Det er særligt i november at den målte BC koncentration forekommer for lav. For flere døgn i december observeres samme niveau for målte og modellerede værdier, hvilket bl.a. er gældende for d. 16/12, hvor den højest målte døgnmiddel BC blev observeret på Folehaven.



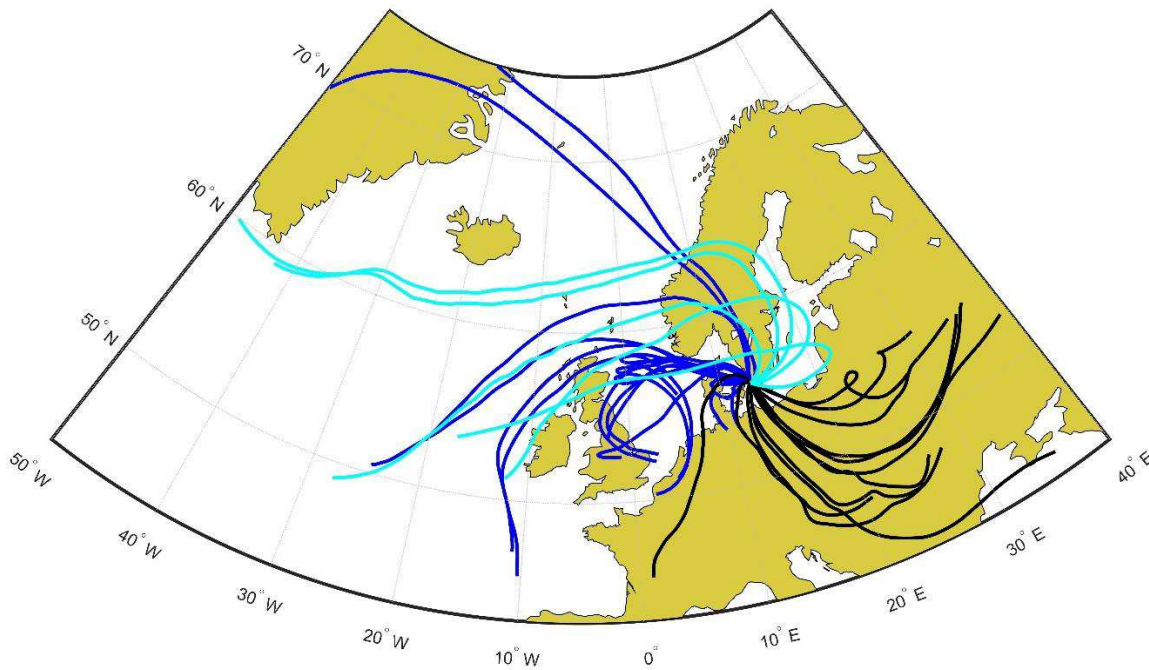
Figur 15. Målt og modelleret døgnmiddel Black Carbon på Folehaven i 2022.

I Tabel 24 nedenfor er vist de målte og modellerede gennemsnitlige kvartals-koncentrationer for hhv. BC, BC_{WB} og BC_{FF} på Folehaven i 2022. Der kan observeres ganske gode overensstemmelser mellem de målte og modellerede BC komponenter for de første 3 kvartaler af 2022. Hvad angår 4. kvartal, så er de modellerede værdier markant højere end de målte værdier. Det skal dog bemærkes, at der kan observeres en korrelation mellem målt og modelleret BC i 4. kvartal trods forskelle i størrelsen af koncentrationerne (Figur 15). Det kan forventes at BC_{FF} er på samme niveau for de forskellige kvartaler, da trafikintensiteten ikke forventedes at variere markant over årstiderne i 2022 på Folehaven. Ydermere, bør BC_{WB} forventeligt udvise de højeste koncentrationer i vinterhalvåret i brændeovnsæsonen. Det kan konkluderes at de modellerede koncentrationer af BC, BC_{WB} og BC_{FF} lever op til forventningerne for 4. kvartal i modsætning til de tilsvarende målte koncentrationer. Baseret på resultaterne præsenteret i Figur 15 og Tabel 24 kan det konkluderes, at de modellerede BC værdier fremstår mere troværdige end de målte værdier for en stor del af 4. kvartal i 2022.

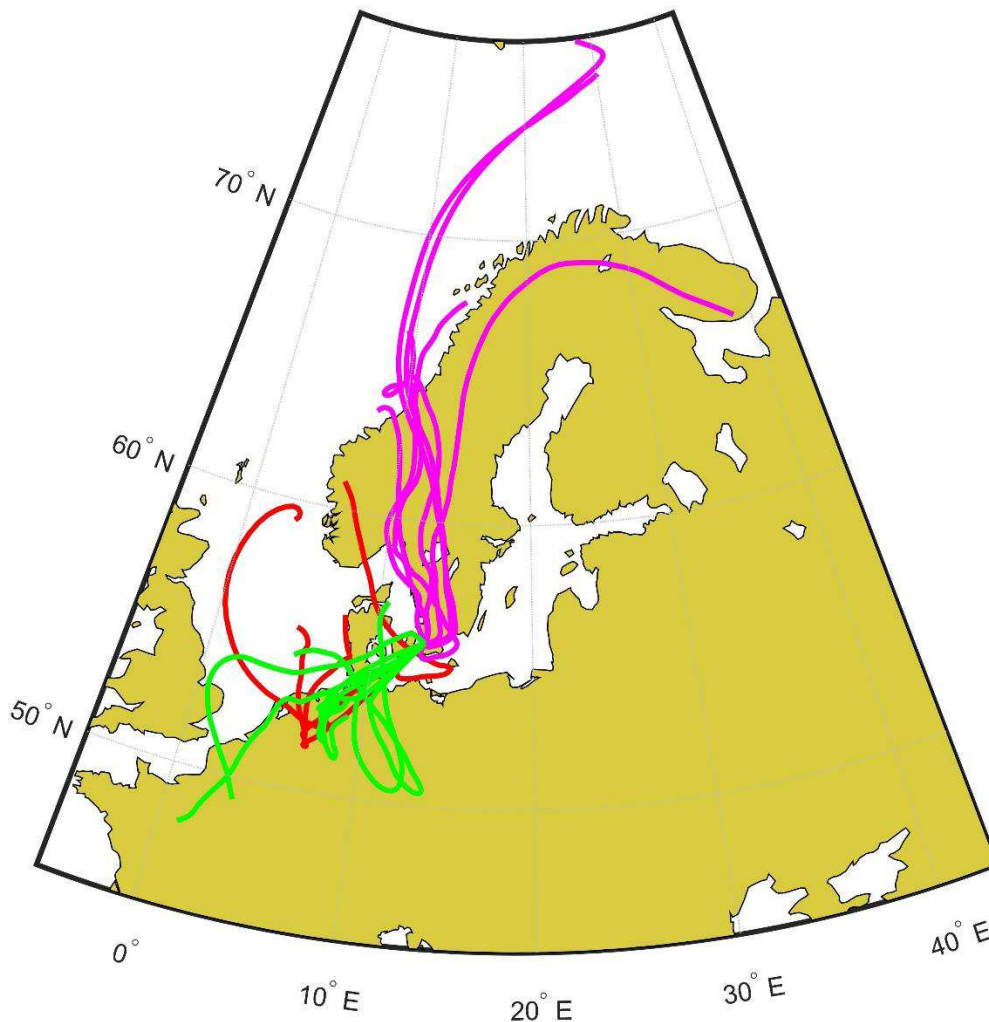
Tabel 24. Målte og modellerede (mBC, mBC_{WB} og mBC_{FF}) kvartalsgennemsnit af BC, BC_{WB} og BC_{FF} på Folehaven i 2022.

	Folehaven			Folehaven		
	µg/m ³			µg/m ³		
2022	BC	BC _{WB}	BC _{FF}	mBC	mBC _{WB}	mBC _{FF}
1. kvartal	1,02	0,44	0,58	1,14	0,44	0,70
2. kvartal	0,78	0,19	0,59	0,82	0,21	0,61
3. kvartal	0,80	0,16	0,64	0,83	0,19	0,63
4. kvartal	0,50	0,26	0,24	1,16	0,48	0,67

Bilag E Luftmassehistorik for episoder med forringet luftkvalitet



Figur 16. Historik for luftmasser kommende til København i perioden 19/3-26/3. Denne figur har til formål at understøtte tolkningen af resultaterne præsenteret i Figur 7. Luftmassernes cirkulation er beregnet 120 timer tilbage i tiden ved hjælp af online-modellen HYSPLIT. Luftmassernes historik er beregnet for hver 6. time i perioden. De turkise baner illustrerer luftmassehistorikken for d. 19/3, hvor luftmasserne mest har en historik over Norden eller Nordatlanten. D. 20/3 skifter den atmosfæriske cirkulation således at luftmasserne har haft en historik over det europæiske kontinent inden ankomst til København ca. tre døgn frem til og med 22/3. De tilhørende luftbaner er illustreret med sort. Fra d. 23/3 til og med d. 26/3 har de ankomende luftmasser typisk en historik nordvest eller nord for København, hvilket er illustreret med de blå luftbaner.



Figur 17. Historik for luftmasser kommende til København i perioden 14/3-17/3. Denne figur har til formål at understøtte tolkningen af resultaterne præsenteret i Figur 8. Luftmassernes cirkulation er beregnet 120 timer tilbage i tiden ved hjælp af online-modellen HYSPLIT. Luftmassernes historik er beregnet for hver 6. time i perioden. De grønne baner illustrerer luftmassehistorikken for d. 14/12 og starten af 15/12, hvor luftmasserne har en historik vest for København. Den atmosfæriske cirkulation skifter over den første halvdel af 15/12 således at luftmasserne har passeret over Skandinavien inden ankomst til København, hvilket er indikeret med de lilla luftbaner. D. 17/12 skifter cirkulationen således at de ankomende luftmasser igen mest har haft en historik vest for København, hvilket er illustreret med de røde baner.

Bilag F 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, indeklime 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, ph.d. (Projektleder fra 1/1-2023)

Specialist i aerosolfysik og atmosfærekemi. Har stor ekspertise omkring aerosolpartikler gennem 15 års forskningsarbejde indenfor feltet.

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 9 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, F&U koordinator og fagområdeansvarlig for luftkvalitet

Projektkoordinator og ansvarlig for udviklingen af teknologiske serviceydelser til luftkvalitet. Karsten Fuglsang er desuden fagområdeansvarlig for afdelingens aktiviteter inden for luftkvalitet.

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.

[tom side]

Kontakt

Afdeling: Clean Air Technologies

Forfattere:

Thomas Bjerring Kristensen

Frantz Bræstrup

Karsten Fuglsang

FORCE Technology

Park Allé 345

2605 Brøndby

Danmark