



MÅLING AF PARTIKELFORURENINGEN OMKRING KØBENHAVNS LUFTHAVN I KASTRUP

Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 599

2024



AARHUS
UNIVERSITET

DCE - NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

MÅLING AF PARTIKELFORURENINGEN OMKRING KØBENHAVNS LUFTHAVN I KASTRUP

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 599

2024

Thomas Ellermann
Martin Bjært Sørensen
Andreas Massling
Frederik Bælum Hildebrand

Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 599
Kategori:	Rådgivningsrapporter
Titel:	Måling af partikelforeningen omkring Københavns Lufthavn i Kastrup
Forfattere:	Thomas Ellermann, Martin Bjært Sørensen, Andreas Massling og Frederik Bælum Hildebrand
Institution:	Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	April 2024
Redaktion afsluttet:	April 2024
Faglig kommentering:	Claus Nordstrøm
Kvalitetssikring, DCE:	Vibeke Vestergaard Nielsen
Sproglig kvalitetssikring:	Vibeke Vestergaard Nielsen
Ekstern kommentering:	Kommentarerne findes her: https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Videnskabelige_rapporter_500-599/KommentarerSR/SR599_komm.pdf
Finansiel støtte:	Miljøministeriet
Bedes citeret:	Thomas Ellermann, Martin Bjært Sørensen, Andreas Massling og Frederik Bælum Hildebrand. 2024. Måling af partikelforeningen omkring Københavns Lufthavn i Kastrup. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 82 s. - Videnskabelig rapport nr. 599
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	DCE har i perioden fra juni 2022 til februar 2024 gennemført et projekt for Miljøministeriet for at kortlægge partikelforeningen med ultrafine partikler i området omkring Københavns Lufthavn Kastrup (herefter lufthavnen). Kortlægningen af luftkoncentrationerne af ultrafine partikler og kvælstofdioxid er foretaget ved, at DCE's målebil 51 gange har kørt en fast rute i området fra lufthavnens yderkant og ud til omkring tre kilometer fra lufthavnens yderkant. Kørslerne blev gennemført i perioden fra 13. februar 2023 til den 25. januar 2024. Resultaterne viser, at lufthavnen bidrager betydeligt til luftforureningen med ultrafine partikler i området omkring lufthavnen, mens lufthavnen ikke påvirker luftforureningen med kvælstofdioxid i nær samme grad. De estimerede årsmiddelværdier for antallet af ultrafine partikler ligger højt sammenlignet med målingerne fra DCE's nationale overvågningsprogram, mens årsmiddelværdierne for kvælstofdioxid ligger relativt lav sammenlignet med disse målestationer. Andelen af ultrafine partikler fra lufthavnen udgør 50-90% ved målepunkterne tæt ved lufthavnen. For kvælstofdioxid lå andelen på 10-40%.
Emneord:	Lufthavn, kortlægning, partikelantal, ultrafine partikler, kvælstofdioxid, grænseværdier, målebil, kildeberegning
Layout:	Majbritt Pedersen-Ulrich
Illustrationer:	Thomas Ellermann
Foto forside:	Thomas Ellermann
ISBN:	978-87-7156-863-9
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	82

Indhold

Forord	5
Sammenfatning	6
Metode for kortlægningen	6
Resultater	7
Bidrag fra lufthavn	9
Sammenligning med målinger fra faste målestationer	10
Sammenligning med målsætninger for luftkvalitet	11
Analyse af timemiddelværdier fra Københavns Kommunes målestation på Backersvej	13
CPH Air View	13
Behov for yderligere undersøgelser	14
1 Indledning	16
2 Metode til kortlægning af partikelforurening omkring lufthavnen i Kastrup	18
2.1 Målebilen og måleinstrumenterne	18
2.2 Metode til kortlægning af partikelforureningen	18
2.3 Kalibrering af udstyr og parallelmålinger med måleudstyr anvendt i det nationale målenetværk	26
2.4 Metode til beregning af estimat af årsmiddelværdierne for ultrafine partikler og kvælstofdioxid	29
3 Resultater fra målingerne omkring lufthavnen i Kastrup	35
3.1 Resultaterne for antallet af ultrafine partikler	35
3.2 Resultater for kvælstofdioxid	44
3.3 Andel af ultrafine partikler og kvælstofdioxid fra lufthavnen	49
3.4 Indflydelse af brug af tværbanen	53
4 Sammenligning med andre målinger af partikelantal og målsætningerne for luftkvaliteten	55
4.1 Vurdering af kvalitet ved sammenligning med resultater fra faste målestationer	55
4.2 Sammenligning med niveauer målt andre steder i Danmark	64
4.3 Sammenligning med målsætninger for luftkvaliteten for ultrafine partikler og kvælstofdioxid	67
5 Vindretningsanalyse af resultater fra Københavns Kommunes målestation på Backersvej	70
6 Sammenligning med resultater fra CPH Air View	75
7 Referencer	81

Forord

Denne rapport præsenterer resultaterne fra DCE's projekt med kortlægning af partikelforureningen med ultrafine partikler omkring Københavns Lufthavn i Kastrup. Projektet er finansieret og udført for Miljøministeriet i 2022-2024.

Københavns Lufthavne A/S takkes for at stille en lang række data til rådighed for analyserne gennemført i forbindelse med projektet. Ligeledes takkes Københavns Kommune for at stille data fra deres målestation ved Backersvej til rådighed for projektet.

Projektet er gennemført ved hjælp af DCE's målebil, som oprindeligt var Googles ombyggede Street View bil, der blev brugt til målingerne i forbindelse med kortlægningen af luftforureningen i København i 2018-2020 (<https://insights.sustainability.google/labs/airquality>). Google og Utrecht University, Roel Vermeulen, overdrogede efterfølgende bilen og udstyret til DCE, hvilket DCE er særdeles taknemlig for.

Sammenfatning

DCE har i perioden fra juni 2022 til februar 2024 gennemført et projekt for Miljøministeriet om partikelforureningen med ultrafine partikler i området omkring Københavns Lufthavn Kastrup (herefter lufthavnen). Baggrunden for kortlægningen er, at lufthavne kan udlede store mængder ultrafine partikler, som er de helt små nanopartikler med diameter under 100 nm (Buxbaum et al., 2023). Samtidigt hermed så har toksikologiske undersøgelser fastlagt, at ultrafine partikler er sundhedsskadelige (WHO, 2021). Det er derfor vigtigt at få kortlagt niveauerne og den geografiske variation af de ultrafine partikler i området omkring lufthavnen.

Hovedformålet er at udføre målinger af antallet af ultrafine partikler og anvende disse til kortlægning af de geografiske variationer i partikelforureningen i området omkring lufthavnen. Projektet skal endvidere give viden om, hvor stor en rolle lufthavnens udledninger har for luftforureningen med ultrafine partikler i området omkring lufthavnen. Som supplement foretages også en kortlægning af luftforureningen med kvælstofdioxid, som også er en helbredsskadelig luftforureningskomponent.

Metode for kortlægningen

Målingerne af de ultrafine partikler og kvælstofdioxid udføres med DCE's målebil, hvilket har den fordel, at der kan udføres målinger med state of the art måleudstyr, mens bilen kører. Dette gør det muligt på relativt kort tid at lave målinger, som kan beskrive den geografiske variation af ultrafine partikler og kvælstofdioxid i et område op til tre kilometer fra lufthavnen.

Kortlægningen af luftkoncentrationerne af ultrafine partikler og kvælstofdioxid er foretaget ved, at målebilen 51 gange har kørt en fast rute i området mellem lufthavnens yderkant og ud til omkring tre kilometer fra denne. Kørslerne blev gennemført i perioden fra 13. februar 2023 til den 25. januar 2024. Ud af de 51 kørsler blev 43 kørsler gennemført med tilfredsstillende måleresultater, mens der ved 8 kørsler var tekniske problemer med måleudstyr.

Ruten er sammensat af en række punkter med 15-minutters måling, mens målebilen holder stille. Disse punkter betegnes holdepunkter. Endvidere er der i ruten indlagt fire transekter, som er fastlagt således, at målebilens faste rute følger en så lige linje som vejforløbene gør det muligt mellem to af holdepunkterne. Holdepunkter og transekter er skitseret i Figur 1.

Ved hver kørsel udføres målinger, som vindmæssigt ligger både opstrøms og nedstrøms for lufthavnen. Dette giver mulighed for at bestemme lufthavnens bidrag til luftkoncentrationerne af ultrafine partikler ved at se på forskellen mellem resultaterne fra målingerne foretaget opstrøms og nedstrøms i forhold til vindretningen ved lufthavnen.

Resultaterne fra de 43 kørsler er efterfølgende blevet justeret således, at det har været muligt at beregne et estimat for årsmiddelværdierne for 2023. Den første justering er gennemført, så resultaterne fra de 43 kørsler bliver repræsentative for de gennemsnitlige vindretningsforhold i 2023. Denne justering har været nødvendig, fordi koncentrationsniveauerne omkring lufthavnen er

meget afhængig af, hvilken vindretning luften kommer fra. Den anden justering er gennemført for at tage hensyn til, at der er forskellige koncentrationer om dagen og natten. Denne justering er gennemført, fordi de 43 kørsler er foretaget om dagen og aftenen, hvilket hænger sammen med, at mere end 90% af flyafgange og -ankomster sker i denne tidsperiode.



Figur 1. Skitse af måleruten, som gennemkørtes 43 gange i løbet af måleperioden. Lufthavnsområdet er markeret med gråt. De røde punkter angiver de 15-minutters holdepunkter, hvor bilen holder stille. De blå streger angiver transekterne, hvor ændringerne i luftkoncentrationerne af ultrafine partikler og kvælstofdioxid måles, mens målebilen kører hen mod eller væk fra selve lufthavnsområdet. Der er holdepunkter for hver ende af de fire transekter og to ekstra holdepunkter. Det ene af disse er placeret mellem lufthavnen og motorvejen i forlængelse af det nordlige transekt (Holdepunkt-lufthavn N). Det andet er placeret øst for lufthavnen (Holdepunkt-lufthavn Ø). Baggrundskort: Krak.

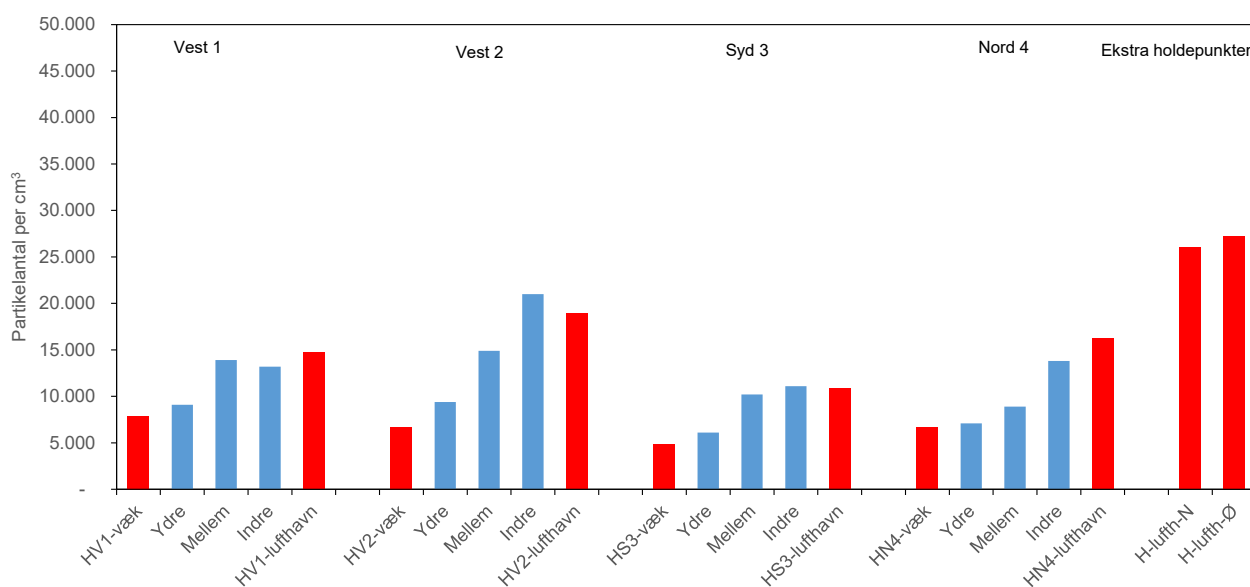
Resultater

Figur 2 viser de estimerede årsmiddelværdier for antallet af ultrafine partikler i 2023. Der ses et tydeligt mønster, hvor de højeste antal ultrafine partikler måles ved holdepunkterne tæt ved lufthavnen og de laveste antal partikler måles ved holdepunkterne væk fra lufthavnen. For holdepunkterne tæt ved lufthavnen ligger den estimerede årsmiddelværdi for antallet af partikler i intervallet fra 11.000 til 19.000 partikler per cm^3 , mens for holdepunkterne væk

fra lufthavnen ligger antallet af partikler på 5.000 til 8.000 partikler per cm^3 . De højeste antal partikler ses ved de to ekstra holdepunkter nord og øst for lufthavnen (26.000-27.000 partikler per cm^3).

Transekterne er omkring 3 km lange. Måleresultaterne fra transektterne er opdelt i gennemsnit for den indre del af transektter (den første kilometer nærmest lufthavnen), den mellemste del (den anden kilometer) og den ydere del (den tredje kilometer længst væk fra lufthavnen). Overordnet set ses aftagende antal partikler fra de indre til ydre dele af transektterne. Dog ses for nogle dele af transektterne, at antallet af partikler afviger fra dette mønster og for enkelte dele af transektterne er værdierne højere end det nærliggende holdepunkt, som ligger tættere ved lufthavnen. Årsagen til dette er, at målingerne med målebilen også bliver påvirket af de direkte udledninger fra den trafik, som målebilen kører i.

Den målte fordeling af antallet af ultrafine partikler viser, at lufthavnen er den største kilde til ultrafine partikler i området omkring lufthavnen. Endvidere viser resultaterne, at vindretningerne spiller en stor rolle for, hvor der er de højeste antal ultrafine partikler. Når de højeste antal ultrafine partikler ses ved holdepunkterne nord og øst for lufthavnen, så hænger det sammen med, at de hyppigste vindretninger er fra vest og syd. Og når de laveste niveauer ses syd for lufthavnen, hænger det sammen med, at nordlige vindretninger kun ses relativt sjældent. Her spiller det dog også ind, at det sydlige transekt ligger længst fra de centrale dele af forpladsen.



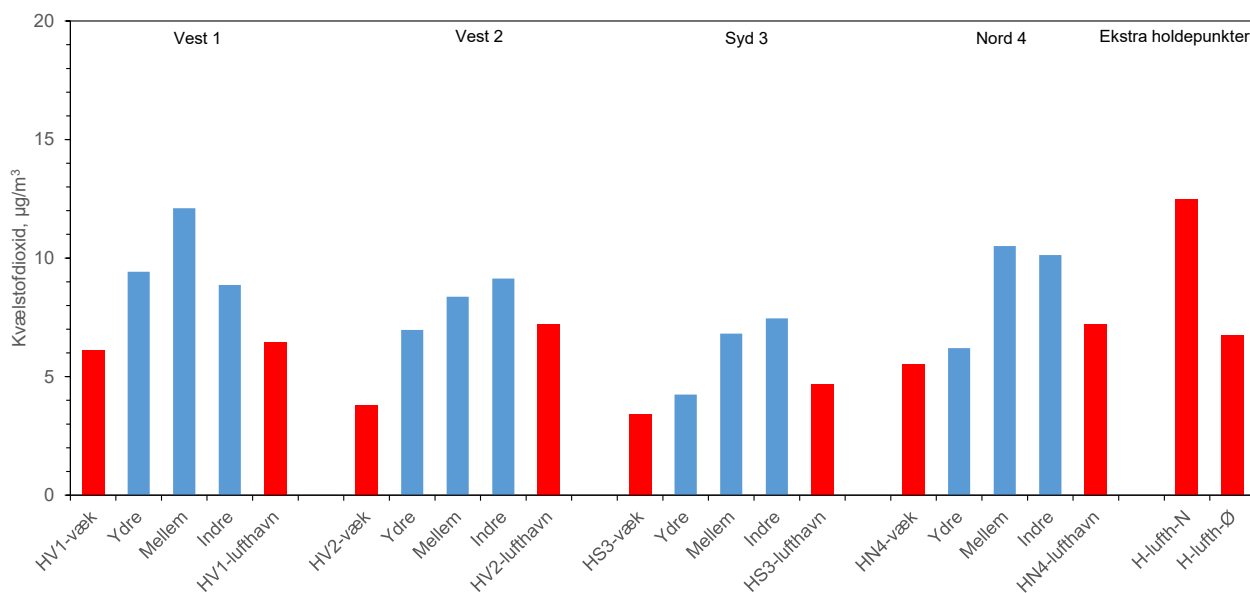
Figur 2. Estimerede årsmiddelværdier for antallet af ultrafine partikler i området omkring lufthavnen i 2023. Røde søjler viser gennemsnit ved de 15 minutters holdepunkter og blå søjler gennemsnit for ydre, mellem og indre dele af transektterne. Data vises for de fire transektter fra venstre mod højre i følgende rækkefølge: Vest 1, Vest 2, Syd 3 og Nord 4. Til højre vises data for de to ekstra holdepunkter. "Hxx-væk" angiver holdepunkt længst fra lufthavnen og "Hxx-lufthavn" holdepunkt nærmest ved lufthavnen, hvor de to x-er angiver transektet. Placering af transektter og holdepunkter kan ses i Figur 1.

Figur 3 viser de estimerede årsmiddelværdier for kvælstofdioxid i 2023. Her ses et lidt andet mønster end for antallet af ultrafine partikler. Forskellen mellem holdepunkterne tæt ved lufthavnen og væk fra lufthavnen er mindre og selv ved det østlige holdepunkt ses årsmiddelværdier som ikke adskiller sig væsentligt fra holdepunkterne væk fra lufthavnen. Dette viser, at lufthavnen

bidrager til luftforureningen med kvælstofdioxid, men til forskel fra de ultrafine partikler, så er bidraget fra lufthavnen mindre dominerende, og bidraget fra vejtrafik har en større rolle.

For de fire transekter ligger de estimerede årsmiddelværdier for kvælstofdioxid i intervallet fra 4,7 til 7,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for holdepunkterne tæt ved lufthavnen og i intervallet fra 3,1 til 6,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ved holdepunkterne væk fra lufthavnen. Ved holdepunktet øst for lufthavn måles 6,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ og ved holdepunktet nord for lufthavnen 12,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Den større betydning af udledningerne af kvælstofoxider fra vejtrafik understreges også af, at de estimerede årsmiddelkoncentrationer for kvælstofdioxid for transekterne ligger relativt højt sammenlignet med værdierne fra holdepunkterne. Når den højeste estimerede årsmiddelværdi måles ved holdepunktet nord for lufthavnen, så hænger dette også sammen med, at vejtrafikken spiller en relativ stor rolle, idet holdepunktet ligger på Lufthavnsboulevarden, hvor der er relativt høj trafikintensitet og facaderne langs vejen er høje, hvilket giver en relativt lille spredning af udledningerne fra trafikken på vejen.



Figur 3. Estimerede årsmiddelkoncentrationer af kvælstofdioxid i området omkring lufthavnen i 2023. Røde søjler viser gennemsnit ved de 15.minutters holdepunkter og blå søjler gennemsnit for ydre, mellem og indre dele af transekterne. Data vises for de fire transekter fra venstre mod højre i følgende rækkefølge: Vest 1, Vest 2, Syd 3 og Nord 4. Til højre vises data for de to ekstra holdepunkter. "Hxx-væk" angiver holdepunkt længst fra lufthavnen og "Hxx-lufthavn" holdepunkt nærmest ved lufthavnen, hvor de to x-er angiver transektet. Placering af transekter og holdepunkter kan ses i Figur 1.

Bidrag fra lufthavn

Ud fra sammenhæng mellem vindretninger og målte koncentrationer er der lavet et estimat af, hvor stor en andel af luftforureningen, som stammer fra udledningerne fra lufthavnen. Estimererne angiver, at lufthavnen er ansvarlig for 56-74% af antallet af ultrafine partikler for holdepunkterne tæt ved lufthavnen syd, vest og nord for lufthavnen og helt op til 89% ved holdepunktet øst for lufthavnen. At den højeste andel måles øst for lufthavnen stemmer med, at vest er den dominerende vindretning, så luftforureningen for den største del af tiden blæses ud over holdepunktet øst for lufthavnen. Samtidigt hermed er der ikke mange andre lokale kilder øst for lufthavnen.

For holdepunkterne væk fra lufthavnen er andelen fra lufthavnen betydeligt mindre. Her ses en andel på 14-24%. Der er dermed stadigvæk et bidrag til antallet af ultrafine partikler i omkring 3 km's afstand fra lufthavnen om end bidraget er lille. I yderligere afstand vurderes bidraget derfor at være ubetydeligt i forhold til de øvrige kilder.

Faldet i antallet af ultrafine partikler, som stammer fra lufthavnen, ligger på 83-91% fra området tæt ved lufthavnen til området væk fra lufthavnen for alle fire transekter. Dette fald skyldes hovedsageligt fortynding af forureningen med den øvrige luft. Da faldet i antallet af partikler fra lufthavnen hovedsageligt skyldes fortynding, så vil faldet være størst tæt ved lufthavnen og gradvis aftage mere og mere.

Det overordnede billede er derfor, at lufthavnen er den største kilde til luftforureningen med ultrafine partikler i området tæt ved lufthavnen. Tæt ved lufthavnen giver lufthavnen i gennemsnit anledning til en fordobling af forureningen med ultrafine partikler set som gennemsnit for et år. Målingerne viser imidlertid også, at når vinden blæser direkte fra lufthavnen, så vil forøgelsen i luftforureningen være langt højere end når man betragter årsgennemsnit. For østlige vindretninger ses dette markant, idet lufthavnens aktiviteter giver anledning til fem gange højere partikelantal vest for lufthavnen end hvad der kommer fra de øvrige kilder i området.

Da der i forbindelse med kørslerne med målebilen er målt meget høje partikelantal (omkring 200.000 partikler per cm^3 for 15-minutters middelværdi, Tabel 3.1), så vurderes det mest sandsynligt, at lufthavnens bidrag til luftforureningen med ultrafine partikler i området omkring lufthavnen hovedsageligt skyldes udledninger fra flymotorer, selv om der også kan komme et bidrag fra de mange køretøjer på forpladsen og i forbindelse med trafikken til og fra lufthavnen.

Estimaterne for kvælstofdioxid angiver, at lufthavnen er ansvarlig for 10-38% af luftkoncentrationerne af kvælstofdioxid for holdepunkterne tæt ved lufthavnen, hvilket tydeligt understreger, at kvælstofdioxid fra lufthavnen udgør en relativt set mindre rolle end hvad der gælder for de ultrafine partikler. For holdepunkterne væk fra lufthavnen er andelen fra lufthavnen betydeligt mindre. Her ses, at der for det nordlige transekt kun estimeres et bidrag på 2% fra lufthavnen, mens der for andre transekter er bidrag på mellem 7 og 21%. Koncentrationerne af kvælstofdioxid fra lufthavnen falder med 27-94% fra området tæt ved lufthavnen til området væk fra lufthavnen for alle fire transekter.

Sammenligning med målinger fra faste målestationer

De estimerede årsmiddelværdier for antallet af ultrafine partikler i området omkring lufthavnen ligger generelt set højt i forhold til årsmiddelværdier målt ved DCE's målestationer i Københavnsområdet. For holdepunkterne tæt ved lufthavnen ved de fire transekter ligger de estimerede årsmiddelværdier højere end det der måles ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard, som vurderes at være en af de mest belastede gader i København med hensyn til luftforurening. Ved holdepunktet nord (H-lufthavn-nord) og øst for lufthavnen (H-lufthavn-øst) ligger partikelantallet næsten dobbelt så højt som på H.C. Andersens Boulevard. For holdepunkterne væk fra lufthavnen ligger de estimerede årsmiddelværdier for antallet af ultrafine partikler over

årsmiddelværdierne målt i bybaggrund i København og ved forstadsmålestationen i Hvidovre, men dog under gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard.

Årsmiddelværdien målt på Københavns Kommunes målestation på Backersvej ligger på niveau med de estimerede årsmiddelværdier for de ydre dele af de fire transekter, hvilket er forventeligt og med til at underbygge kvaliteten af målingerne med DCE's målebil.

De estimerede årsmiddelværdier fra holdepunkterne ligger overordnet set højt sammenlignet med årsmiddelværdierne fra lufthavnens egne målestationer inde på lufthavnens område. Det var forventet, at de estimerede årsmiddelværdier for holdepunkterne tæt ved lufthavnen ville ligge på niveau med eller under årsmiddelværdierne målt ved lufthavnens målestation ved den vestlige udkant (Lufthavn-vest).

Der er anvendt forskellige målemetoder til måling af antallet af ultrafine partikler ved de forskellige målinger, hvilket er nødvendigt at tage med i betragtning ved sammenligning mellem resultaterne.

Overordnet set ligger årsmiddelværdierne for kvælstofdioxid relativt lavt set i forhold til niveauerne målt ved de stærkt trafikerede gader i København. Ved holdepunkterne væk fra lufthavnen ses niveauer, der svarer nogenlunde til det, der måles ved landbaggrundsmålestationen ved Risø, mens der ved holdepunkterne tæt ved lufthavnen ses niveauer, der ligger mellem landbaggrundsmålestationen ved Risø og forstadsmålestationen i Hvidovre og bybaggrundsmålestationen på H.C. Ørsted Institut. Kun ved holdepunktet på Lufthavnsboulevard (H-lufthavn-nord) ses en estimeret årsmiddelværdi, der ligger over bybaggrundsmålestationen på H.C. Ørsted Institut, men kun på omkring halvdelen af årsmiddelkoncentrationen målt på gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard. Årsagen til den høje årsmiddelværdi ved dette holdepunkt er formentlig den lokale vejtrafik.

De estimerede årsmiddelværdier for holdepunkterne ved lufthavnen ligger alle under årsmiddelværdien målt på målestationen på Backersvej bortset fra holdepunktet på Lufthavnsboulevard (H-lufthavn-nord). Ved de mest trafikerede transekter (Vest 1, dele af Vest 2 og Nord 4) ligger de estimerede årsmiddelværdier over niveauerne ved holdepunkterne tæt ved lufthavnen og på niveau med Backersvej eller lidt over. Dette mønster for transekterne skyldes formentlig primært, at det ikke helt kan undgås, at målingerne med målebilen påvirkes direkte af udledningerne fra den trafik, som målebilen kører i.

De estimerede årsmiddelværdier fra målebilen ligger for både transekterne og holdepunkterne på niveau med eller under årsmiddelværdier ved målestationerne i udkanten af lufthavnen (Lufthavn-vest og Lufthavn-øst) og noget under målestationen centralt på forpladsen (Lufthavn-B4). Dette mønster passer fint med forventningerne.

Sammenligning med målsætninger for luftkvalitet

Der findes ingen grænseværdier eller lignende målsætninger for antallet af ultrafine partikler i udeluft i forbindelse med EU's nuværende luftkvalitetsdirektiv fra 2008 (EU, 2008), og der bliver heller ikke indført grænseværdier

eller lignende målsætninger i forbindelse med det kommende luftkvalitetsdirektiv (EU, 2023). Verdenssundhedsorganisationen WHO kom i 2021 med nye og opdaterede retningslinjer for luftkvalitet, men WHO fandt ikke, at det nuværende vidensgrundlag var tilstrækkeligt til, at der kunne fastlægges en retningslinje for antallet af ultrafine partikler i udeluft (WHO, 2021). I stedet kom WHO med en række erklæringer betegnet som *Good practice statements*, der indeholder en form for retningslinjer for vurdering af luftkvalitet i relation til antallet af ultrafine partikler, hvor:

- Mindre end 1.000 partikler per cm^3 kan betragtes som lave niveauer for ultrafine partikler.
- Døgnmiddel-partikelantal højere end 10.000 partikler per cm^3 kan betragtes som høje niveauer.
- Timemiddel-partikelantal højere end 20.000 partikler per cm^3 kan betragtes som høje niveauer.

Der er en vis uklarhed om, hvordan disse *Good practice statements* skal fortolkes, da der ikke er nogen angivelse af, hvor ofte disse *Good practice statements* må overskrides.

En anden udfordring er, at der på basis af målingerne med målebilen ikke kan bestemmes hverken timemiddel- eller døgnmiddelværdier, og at det derfor ikke kan vurderes, hvor ofte disse overskrides. De estimerede årsmiddelværdier for antallet af ultrafine partikler ligger imidlertid for alle holdepunkterne tæt ved lufthavnen højere end de 10.000 partikler per cm^3 , som WHO sætter som grænse for, hvornår døgnmiddelværdierne kan anses for høje. Ved et enkelt holdepunkt ligger den estimerede årsmiddelværdi på 11.000 partikler per cm^3 , mens resten ligger over 15.000 partikler pr cm^3 og den højeste ligger på 27.000 partikler per cm^3 . Området omkring lufthavnen må derfor betragtes som et område med høje niveauer af ultrafine partikler i henhold til WHO, fordi en estimeret årsmiddelværdi over 10.000 partikler per cm^3 vil betyde, at mange af døgnmiddelværdierne også vil ligge over denne grænse.

For holdepunkterne væk fra lufthavnen ligger de estimerede årsmiddelværdier mellem 5.000 og 8.000 partikler per cm^3 . Derfor er det mere vanskeligt at vurdere, om der er døgnmiddelværdier over 10.000 partikler per cm^3 , men i de perioder, hvor vinden blæser fra lufthavnen hen mod holdepunkterne, ligger de estimerede årsmiddelværdier over 10.000 partikler per cm^3 vest og nord for lufthavnen selv i omkring 3 km's afstand fra lufthavnen.

Til forskel fra de ultrafine partikler, så er der fastlagt grænseværdier for årsmiddelværdierne af kvælstofdioxid. Målingerne viser, at de estimerede årsmiddelværdier for kvælstofdioxid ligger langt under EU's gældende grænseværdi på $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (EU, 2008) og at EU's nye forslag til grænseværdi for 2030 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$; EU, 2023) også overholdes med god margin. For transekterne med de højeste koncentrationer ses værdier over WHO's retningslinjer for årsmiddeldkoncentrationerne af kvælstofdioxid ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$; WHO, 2021), hvilket dog formentligt skyldes, at målingerne er foretaget med målebilen direkte i trafikken. Ved holdepunktet på Lufthavnsboulevard (H-lufthavn-nord) ses også værdier over WHO's retningslinje (30% over). Der forventes fortsat betydelige reduktioner i udledningerne fra vejtrafik (Nielsen et al., 2023), hvilket formentligt vil reducere koncentrationerne til under WHO's retningslinjer for hele området omkring lufthavnen med mindre, der sker væsentlig øgning af udledningerne fra lufthavnen eller andre kilder i området.

Analyse af timemiddelværdier fra Københavns Kommunes målestation på Backersvej

København Kommunes målestation på Backersvej er placeret omkring 2,2 km nord for lufthavnen og resultaterne fra denne målestation er derfor inddraget som supplement til resultaterne fra DCE's målebil. Ved at analysere sammenhæng mellem vindretninger og timemiddelværdierne for 2023 kan det tydeligt ses, at udledninger fra lufthavnen giver anledning til et forøget antal ultrafine partikler ved målestationen. Det gennemsnitlige antal ultrafine partikler er omkring 14.000 partikler per cm^3 , når vinden kommer fra lufthavnsområdet og omkring 4.300 partikler per cm^3 , når vinden kommer fra andre vindretninger. Den målte årsmiddelværdi for 2023 ligger på 6.200 partikler per cm^3 . Når vinden kommer fra lufthavnsområdet måles relativt høje timemiddelværdier med den højeste timemiddelværdi på 92.000 partikler per cm^3 .

For de ultrafine partikler estimeres det, at omkring 30% af de ultrafine partikler ved målestationen stammer fra udledninger i lufthavnen. Dette niveau er i god overensstemmelse med resultaterne fra målebilen, hvor det blev estimeret, at lidt over 60% stammede fra lufthavnen ved holdepunktet tæt ved lufthavnen for det nordlige transekt (HN4-lufthavn) og 10% stammede fra lufthavnen ved holdepunktet væk fra lufthavnen (HN4-væk). Målestationen på Backersvej ligger omkring 2,2 km nord for lufthavnen, mens holdepunktet væk fra lufthavn (HN4-væk) ligger omkring 3 km væk fra lufthavnen, så derfor er der god overensstemmelse, når andelen på Backersvej ligger noget over den estimerede andel ved holdepunktet væk fra lufthavnen.

For kvælstofdioxid er det kun 12% af luftforureningen, som estimeres at komme fra lufthavnen ved Backersvej. De tilsvarende andele er 22% for holdepunktet tæt ved lufthavnen og neglignibelt bidrag fra holdepunktet væk fra lufthavnen.

Timemiddelværdierne for antallet af ultrafine partikler ved målestationen på Backersvej ligger for 5% af timerne over 20.000 partikler per cm^3 i 2023. De 20.000 partikler per cm^3 er grænsen hvorover WHO anser partikelforureningen med ultrafine partikler på timebasis til at være høj. Det er det samme niveau, som måles ved DCE's gademålestation på H.C. Andersens Boulevard (Ellermann et al., 2024a). Den årlige daglige trafikmængde (ÅDT) ved gademålestationen på Backersvej ligger på omkring 7.000 køretøjer per dag, mens den årlige daglige trafikmængde på H.C. Andersens Boulevard er over 50.000 køretøjer dagligt (Jensen et al., 2021). Når andelen af timer med antal partikler over 20.000 partikler per cm^3 er på samme niveau, selv om trafikintensiteten er meget forskellig, så peger det på den betydelige effekt, som lufthavnens udledninger har i selv 2,2 km's afstand fra lufthavnen.

CPH Air View

Som led i en tidligere luftforureningskortlægning i Københavnsområdet, blev den geografiske variation i antallet af ultrafine partikler og luftkoncentrationerne af kvælstofdioxid i området omkring lufthavnen kortlagt ved hjælp af målebilen (<https://insights.sustainability.google/labs/airquality>). Denne kortlægning, kaldet CPH Air View, blev foretaget i oktober 2018 til september 2020 - dog med undtagelse af perioden med omfattende Covid-19-restriktioner i foråret 2020. Selv om der er gået 3-4 år siden denne kortlægning, så er

det fortsat relevant at sammenligne resultaterne fra 2018-2020 med resultaterne fra DCE's nye kortlægning foretaget fra 13. februar til den 25. januar 2024. CPH Air View blev gennemført i et samarbejde mellem Utrecht Universitet, Københavns Kommune, Google og DCE.

Figur 6.3 viser sammenligning mellem resultaterne fra DCE's målebil og CPH Air View for de to vestlige og det nordlige transekt samt for holdepunktet nord for lufthavnen (H-lufthavn-nord). CPH Air View dækker ikke det sydlige transekt og holdepunktet øst for lufthavnen. For de tre dele af transekterne (omkring 1 km's længde hver) er data fra CPH Air View beregnet som middelværdi af alle 50 m's gadesegmenter langs de tre dele af transektet.

For antallet af ultrafine partikler ses rimelig god overensstemmelse mellem de to datasæt for holdepunkterne tæt ved lufthavnen. Den største forskel ses ved transektet Vest 1, hvor værdier fra CPH Air View ligger 21% over målinger fra DCE's målebil, mens det til gengæld ligger 17% under ved transektet Vest 2. Ved holdepunkterne væk fra lufthavnen ses væsentligt større forskel. Ved transekterne Vest 1 og Nord 4 ses en forskel på lige over 50%, mens der for transektet Vest 2 ses forskel på omkring 30%. Dette peger på, at metoden bag CPH Air View data overvurderer, hvor stor en effekt lufthavnen har på antallet af ultrafine partikler i området fra 3 km og længere væk fra lufthavnen (formentligt helt ud til 5 km's afstand). Når det vurderes, at det er CPH Air View data som er overvurderet, så er det fordi datagrundlaget er langt bedre for målingerne med DCE's målebil og at modelberegningerne bag CPH Air View var baseret på en simplificeret metode.

For kvælstofdioxid ses, at data fra CPH Air View ligger relativt højt i forhold til DCE's datasæt fra målebilen. For alle holdepunkterne ses forskel mellem de to datasæt på mellem 31 og 57%. En anden forskel er, at forskellene i store træk er lige store tæt ved lufthavnen (31-54%) som væk fra lufthavnen (49-57%). Dette skyldes formentligt, at antallet af ultrafine partikler i området omkring lufthavnen for en stor del stammer fra udledningerne fra lufthavnen, mens luftkoncentrationerne af kvælstofdioxid i langt mindre grad stammer fra lufthavnen og i langt højere grad stammer fra vejtrafik og de øvrige kilder i området. Den relativt store forskel mellem de to datasæt for kvælstofdioxid skyldes for en stor del det generelle fald i årsmiddelværdierne fra 2019 til 2023 (omkring 30%), som følge af blandt andet de store reduktioner i udledningerne fra vejtrafik (Ellermann et al., 2024b). Den resterende forskel (omkring 20-30%) skyldes formentligt primært, at CPH Air View er baseret på målinger foretaget, mens målebilen har kørt i trafikken.

Behov for yderligere undersøgelser

Kortlægning af luftforureningen omkring lufthavnen har vist, at der med fordel vil kunne gennemføres yderligere undersøgelser af partikelforureningen med ultrafine partikler. Disse supplerende undersøgelser drejer sig om:

- Nye målinger af størrelsesfordelingen for antallet af ultrafine partikler i forskellig afstand fra lufthavnen. Størrelsen af de ultrafine partikler har stor betydning for helbredseffekterne af partikelforureningen, så derfor er det vigtigt at få kortlagt, hvordan disse varierer med afstanden til lufthavnen. Nyudvikling på instrumentsiden gør det muligt at foretage disse målinger ved hjælp af målevognen.

- Nye målinger af den kemiske sammensætning af partikelforureningen i området omkring lufthavnen. Nye avancerede partikelinstrumenter vil kunne give forbedret viden om den kemiske sammensætning af partikelforureningen, hvilket ligeledes har betydning for vurdering af helbredseffekterne fra partikelforureningen.
- Parallelmålinger mellem DCE's og lufthavnens målinger af antallet af ultrafine partikler til afklaring af årsag til de observerede forskelle mellem resultaterne fra DCE's og lufthavnens målinger, herunder hvilken betydning det har, at der anvendes to forskellige typer måleinstrumenter med forskel i måleområdet for de ultrafine partikler.
- Det var oprindeligt intentionen med projektet, at der parallelt med målingerne af ultrafine partikler og kvælstofdioxid, skulle have været foretaget målinger af kulbrinter, som ikke kunne gennemføres. Målet med målinger af kulbrinter var at kortlægge den geografiske variation i kulbrinter for hermed at kunne opnå viden om den geografiske variation i lugtgener fra lufthavnen. Der er fortsat et behov for kortlægning af lugtgenerne fra lufthavnens aktiviteter.

1 Indledning

DCE har i perioden fra juni 2022 til februar 2024 gennemført et projekt for Miljøministeriet om partikelforureningen med ultrafine partikler i området omkring Københavns Lufthavn Kastrup (herefter lufthavnen). Denne rapport præsenterer resultaterne fra projektet.

Baggrunden for kortlægningen er, at lufthavne kan udledestore mængder ultrafine partikler, som er de helt små nanopartikler med diameter under 100 nm (Buxbaum et al., 2023). Samtidigt hermed har toksikologiske undersøgelser fastlagt, at ultrafine partikler er sundhedsskadelige (WHO, 2021). Det er derfor vigtigt at få kortlagt niveauerne og den geografiske variation af de ultrafine partikler i området omkring lufthavnen.

Formål med projektet er derfor at udføre målinger af partikelforureningen og anvende disse til kortlægning af de geografiske variationer i partikelforureningen i området omkring lufthavnen. Projektet skal endvidere give viden om, hvor stor en rolle lufthavnens udledninger har for luftforureningen med ultrafine partikler og kvælstofdioxid i området omkring lufthavnen.

Projektet har fokus på kortlægning af de ultrafine partikler (partikler med diameter under 100 nm). Målingerne af de ultrafine partikler udføres med DCE's målebil, som har den fordel, at der kan udføres målinger med state of the art måleudstyr, mens bilen kører. Dette gør det muligt på relativt kort tid at lave målinger, som kan beskrive den geografiske variation af ultrafine partikler i et område op til tre kilometer fra lufthavnen. For at sikre at målingerne også bliver tilstrækkeligt repræsentative for variationer i udledningerne fra lufthavnen og de meteorologiske forhold, så er der gennemført målinger ugentligt i 2023. Det var intentionen, at målingerne skulle være jævnt fordelt over et helt år, men grundet nedbrud af måleinstrument, har det være nødvendigt at intensivere målingerne i sidste halvdel af 2023, hvor der er foretaget målinger to gange og nogle få tilfælde tre gange ugentligt.

Samtidigt med målingerne af ultrafine partikler foretages der også målinger af kvælstofdioxid. Kvælstofdioxid er en helbredsskadelig luftforureningskomponent, som stammer fra udledninger fra forbrændingsprocesser. Det er navnlig vejtrafikken, som spiller en stor rolle i byområder, mens udledningerne fra lufthavne spiller en mindre rolle sammenlignet med ultrafine partikler. Ved at sammenligne den geografiske variation for ultrafine partikler med den geografiske variation for kvælstofdioxid bliver det derfor muligt at opnå en bedre vurdering af lufthavnens betydning for luftforureningen med ultrafine partikler i området omkring lufthavnen.

En af ulemperne med målebilen er, at en del af målingerne foretages, mens bilen kører i trafikken. Der er derfor en risiko for, at målingerne i høj grad bliver påvirket af de direkte udledninger fra køretøjer umiddelbart foran målebilen. For at minimere denne risiko foretages målingerne på små veje og med god afstand til de forankørende biler. Samtidigt hermed kan målingerne af kvælstofdioxid også anvendes til at fastlægge perioder med høj påvirkning fra den lokale trafik, da luftkoncentrationerne af kvælstofdioxid er meget følsomme for de lokale udledninger, for eksempel fra en gammel lastbil der kører foran målebilen.

For at relatere de målte niveauer af ultrafine partikler i området omkring lufthavnen med niveauerne målt andre steder i Danmark har Miljøministeriet anmodet om, at DCE foretager sammenligninger med øvrige tilgængelige målinger. Først og fremmest drejer det sig om målingerne af ultrafine partikler i forbindelse med den nationale overvågning af luftkvalitet under NOVANA, hvor der blandt andet måles ultrafine partikler ved målestationen på H.C. Andersens Boulevard, som er en af de mest trafikerede gadestørkninger i Danmark, men også på henholdsvis by- og landbaggrundsstationerne på H.C. Ørstedsinstituttet og Risø.

Dernæst så har Københavns Lufthavne A/S stillet resultater til rådighed fra lufthavnens egen overvågning af luftforureningen i selve lufthavnen. Det er måling af ultrafine partikler ved to målestationer og kvælstofdioxid ved tre målestationer.

Endvidere har Københavns Kommune sammen med Miljøministeriet anmodet om, at måleresultaterne fra Københavns Kommunes målestation på Backersvej inkluderes i vurderingerne. Målestationen på Backersvej er placeret ved en relativt let befærde vej omkring 2 km nord for lufthavnen.

Endelig vil der blive lavet en sammenligning med data fra CPH air view. Disse data blev udarbejdet i et samarbejde mellem Utrecht University, Aarhus Universitet, Københavns Kommune og Google. Kortlægningen var baseret på målinger med Googles målebil (den nuværende DCE-målebil) i kombination med modelberegninger. Målingerne blev gennemført fra november 2018 til marts 2020 og dækker størstedelen af det geografiske område, som er omfattet af nærværende projekt.

Rapporten er bygget op på følgende vis:

Kapitel 2: Beskrivelse af metode til kortlægning af partikelforureningen omkring lufthavnen.

Kapitel 3: Præsentation af resultater herunder præsentation af data for den geografiske fordeling af ultrafine partikler i området omkring lufthavnen. Endvidere gives et estimat for lufthavnens betydning for antallet af ultrafine partikler i området omkring lufthavnen.

Kapitel 4: Sammenligning mellem resultaterne fra måleprojektet omkring lufthavnen og resultaterne fra det nationale overvågningsprogram for luftkvalitet, Københavns Kommunes målestation på Backersvej og Lufthavnens målestationer i Lufthavnen. Dette kapitel giver endvidere også en sammenligning med EU's grænseværdier og WHO's retningslinjer for luftkvalitet for ultrafine partikler og kvælstofdioxid.

Kapitel 5: Vindretningsanalyse af timemiddelværdierne for antallet af ultrafine partikler og koncentrationerne af kvælstofdioxid ved Københavns Kommunes målestation på Backersvej. Herunder vurdering af i hvilket omfang målestationen på Backersvej er påvirket af udledningerne fra lufthavnen.

Kapitel 6: Sammenligning mellem resultaterne fra måleprojektet omkring lufthavnen med data fra CPH Air View.

2 Metode til kortlægning af partikelforurening omkring lufthavnen i Kastrup

2.1 Målebilen og måleinstrumenterne

Målingerne af ultrafine partikler foretages ved hjælp af DCE's målebil, som tidligere blev anvendt i forbindelse med et projekt omhandlende kortlægning af luftforureningen i København udført i et samarbejde mellem Utrecht University, Aarhus Universitet, Københavns Kommune og Google (Ellermann et al., 2021). Institut for Miljøvidenskab har efterfølgende overtaget bilen med udstyret og forbedret bilens måleudstyr på en række punkter.

I forbindelse med dette projekt er målebilen bestykket med følgende udstyr:

- **Partikeltæller til måling af ultrafine partikler** (vandbaseret CPC, Environmental Particle Counter 3783 fra TSI) som måler antallet af partikler per cm^3 og inkluderer partikler med diameter fra 7 nm og opefter. Ultrafine partikler defineres som antallet af partikler med diameter under 100 nm. Partikeltælleren registrerer derfor ikke partikler inden for intervallet svarende til definitionen på ultrafine partikler, idet den inkluderer partikler, som er større end 100 nm. Typisk vil partikeltælleren under danske forhold dog kun måle et partikelantal, som er lidt større end antallet af ultrafine partikler, idet de ultrafine partikler udgør langt det største antal af partikler. I daglig tale anvendes betegnelsen ultrafine partikler oftest i forbindelse med denne type målinger, så derfor anvendes denne betegnelse også i dette notat.
- **Kvælstofdioxidmonitor** (Aerodyne CAPS NO_2 monitor fra Aerodyne Research Inc.) som direkte måler luftkoncentrationen af kvælstofdioxid, NO_2 (men som til gengæld ikke kan måle kvælstofoxider, NO_x). Denne monitor er teknisk bedre egnet til måling fra bil under kørsel end NO_x -monitorer, som DCE anvender på de nationale faste målestationer og som følger EU's referencemetode.
- **GPS** som giver bilens nøjagtige position, så måleresultaterne kan knyttes til det geografiske punkt, hvor målingen er foretaget.
- **Dataopsamlingsudstyr**
- **Batteri til instrumenterne**

2.2 Metode til kortlægning af partikelforureningen

Kortlægningen af luftkoncentrationerne af ultrafine partikler og kvælstofdioxid er foretaget ved, at målebilen 51 gange har kørt en fast rute i området fra lufthavnens yderkant og ud til omkring tre kilometer fra denne. Ud af de 51 kørsler blev 43 kørsler gennemført med tilfredsstillende måleresultater, mens der ved 8 kørsler var tekniske problemer med måleudstyret.

Ruten er sammensat af en række punkter med 15-minutters måling, mens målebilen holder stille. Disse punkter betegnes holdepunkter. Endvidere er der i ruten indlagt fire transekter, som er fastlagt således, at målebilens faste rute følger en så lige linje, som vejforløbene gør det muligt mellem to af holdepunkterne. Holdepunkter og transekter er skitseret i Figur 2.1.

Den overordnede plan med det samlede kørselsmønster er at sikre, at der laves målinger, der repræsenterer beboelsesområderne hele vejen omkring lufthavnen, og at der laves målinger både tæt på og relativt langt fra lufthavnen. Samtidigt er det prioriteret, at der ved hver kørsel udføres målinger, som vindmæssigt ligger både opstrøms og nedstrøms for lufthavnen. Dette giver mulighed for at bestemme lufthavnens bidrag til luftkoncentrationerne af ultrafne partikler ved at se på forskellen mellem resultaterne fra målingerne foretaget opstrøms og nedstrøms i forhold til vindretningen ved lufthavnen.



Figur 2.1. Skitse af måleruten, som gennemkørtes 43 gange i løbet af måleperioden. Lufthavnsområdet er markeret med gråt. De røde punkter angiver de 15-minutters holdepunkter, hvor bilen holder stille. De blå streger angiver transekterne, hvor ændringerne i luftkoncentrationerne af ultrafne partikler og kvælstofdioxid måles, mens målebilen kører hen mod eller væk fra selve lufthavnsområdet. Der er holdepunkter for hver ende af de fire transekter og to ekstra holdepunkter. Det ene af disse er placeret mellem lufthavnen og motorvejen i forlængelse af det nordlige transekt (Holdepunkt-lufthavn N). Det andet er placeret øst for lufthavnen (Holdepunkt-lufthavn Ø). Baggrundskort: Krak.

Holdepunkterne med 15-minutters måling på samme sted har for det første den fordel, at der bedre kan tages hensyn til de naturlige variationer i de meteorologiske forhold og dermed kan denne bias minimeres. For det andet foretages disse målinger ikke, mens bilen kører i trafikken. Målinger foretaget

på vejbanen i den kørende trafik kan være præget af de direkte udledninger fra køretøjerne foran bilen (for eksempel en gammel lastbil) og de målte koncentrationer vil derfor kunne ligge over den koncentration, som måles for eksempel ved facaden af husene.

Holdepunkterne er placeret ved hver ende af de fire transekter. Yderligere er der placeret to ekstra holdepunkter. Det ene af disse er placeret mellem lufthavnen og motorvejen i forlængelse af det nordlige transekt (Holdepunkt-lufthavn N). Det andet er placeret øst for lufthavnen (Holdepunkt-lufthavn Ø).

Målet med de fire transekter er at udføre målinger af variationerne i luftkoncentrationerne af ultrafine partikler som funktion af afstanden til lufthavnen. Transekterne har en længde på omkring 3 km, hvor det selvfølgelig har været nødvendigt at tage hensyn til de begrænsninger, som det eksisterende vejnet giver. Transekterne er udvalgt, så det så vidt muligt undgås at køre på stærkt trafikerede veje. Føreren af målebilen har endvidere fået instruktion om så vidt muligt at undgå kørsel direkte efter andre køretøjer. Det er navnlig væsentligt at holde afstand til for eksempel ældre lastbiler.

I forbindelse med analyse af de mange måledata fra transekterne er det valgt at inddele transekterne i tre nogenlunde lige store vejstrækninger. Disse tre dele er omkring 1 km lange og betegnes Indre, Mellem og Ydre, hvor den Indre del ligger tættest ved lufthavnen og den Ydre del ligger længst fra lufthavnen. Formålet med denne inddeling er at kunne beregne gennemsnitlige luftkoncentrationer for hver af de omkring en-kilometer lange vejstrækninger, hvilket vil dæmpe effekten af de daglige variationer i den øvrige trafik på kørselsruten.

Den oprindelig plan var, at ruten blev gennemført i alt 52 gange svarende til én kørsel ugentligt igennem et helt år. Dette har dog ikke været muligt grundet de tekniske vanskeligheder med måleudstyr, så derfor er der i den sidste del af måleperioden gennemført to til tre ugentlige kørsler. På den måde er det lykkedes at gennemføre 51 kørsler af måleruten, hvoraf 43 har tilfredsstillende måleresultater. Målingerne er gennemført over næsten et år, hvilket er for at tage hensyn til de naturlige variationer i de meteorologiske forhold, som kan være betydelige på grund af årstidernes skift. Ved at måle over en lang periode kan det bedst muligt sikres, at måleperioden dækker den årlige variation i de meteorologiske forhold.

For at opnå det bedst mulige grundlag for at beregne et repræsentativt estimat for det gennemsnitlige antal af ultrafine partikler og kvælstofdioxid udvælges køredagene i de enkelte uger på tilfældig vis, ligesom startpunktet på ruten varieres tilfældigt fra gang til gang. Dog har det også vist sig nødvendigt at tage hensyn til øvrige arbejdsopgaver, og derfor har det ikke været muligt at gennemføre dette tilfældighedsprincip fuldt ud.

For at give et indtryk af forholdene langs ruten giver Tabel 2.1 en oversigt over trafikintensiteten langs ruten og Figur 2.2 til 2.11 viser billeder fra holddepunkterne.

Tabel 2.1. Trafikintensitet langs målebilens rute. ÅDT, Årsdøgntrafik hvis intet andet er angivet, er fra Jensen et al. (2019, 2021).

Lokalitet		Vejnavn	ADT Køretøjer per døgn
Vestlig transekt 1			
Holdepunkt	Ved lufthavn	Magle Allé	200-500*
Transekt	Indre	Amager Landevej, Løjtegårdsvej	8.500-9.800
Transekt	Mellem	Løjtegårdsvej	9.300-9.800
Transekt	Ydre	Løjtegårdsvej, Otto Baches Allé	8.500-9.300
Holdepunkt	Væk fra lufthavn	Otto Baches Allé	8.500
Vestlig transekt 2			
Holdepunkt	Ved lufthavn	Tømmerup Stationsvej	
Transekt	Indre	Tømmerupvej	7.000
Transekt	Mellem	Tømmerupvej	5.700
Transekt	Ydre	Ugandavej	2.000
Holdepunkt	Væk fra lufthavn	Ugandavej	200-500*
Sydlig transekt 3			
Holdepunkt	Ved lufthavn	Hovedgaden	700
Transekt	Indre	Hovedgaden, Møllegade	700
Transekt	Mellem	Møllevej	700-1.100
Transekt	Ydre	Store Magleby Standvej	1.000-1.100
Holdepunkt	Væk fra lufthavn	Store Magleby Standvej	1.000
Nordlig transekt 4			
Holdepunkt	Ved lufthavn	Kastrupvej	200-500*
Transekt	Indre	Kastrupvej	6.600-11.000
Transekt	Mellem	Kastrupvej, Backersvej	5.000-10.000
Transekt	Ydre	Backersvej	7.000
Holdepunkt	Væk fra lufthavn	Italiensvej	1.800
Ekstra holdepunkter			
Holdepunkt	Nord for lufthavn	Lufthavnsboulevarden	7.100
Holdepunkt	Øst for lufthavn	Kystvejen - sidevej	1.000**

*Estimat baseret på, at det er stille vej med meget lidt trafik

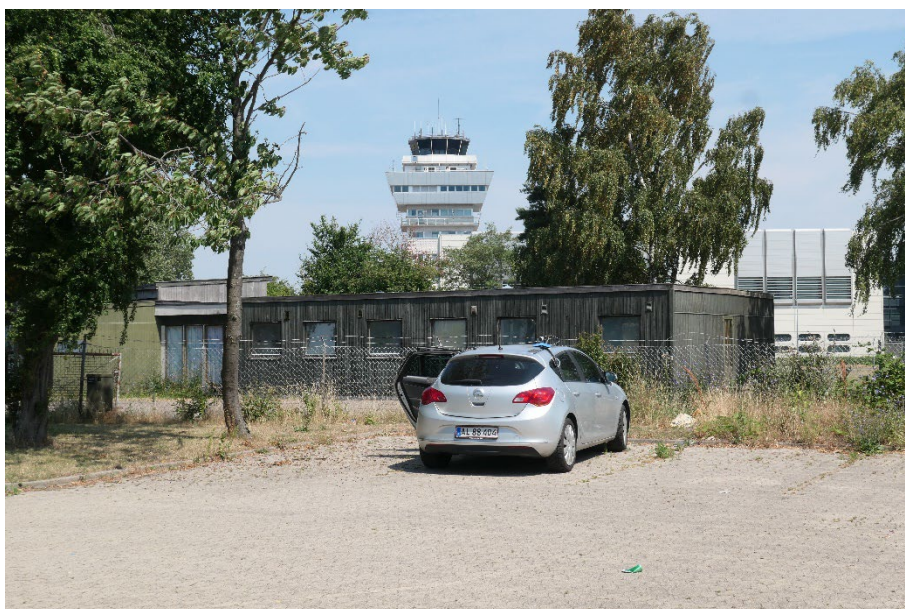
**Der er ingen data for sidevejen til Kystvejen, så derfor er det estimat baseret på observationer fra måleturene



Figur 2.2. Holdepunkt tæt ved lufthavn ved transekt Vest 1 (HV1-lufthavn). Der er stort set ingen trafik ved selve holdepunktet på Magle Alle, men Amagerlandevej (ÅDT 8400 køretøjer per døgn) ligger kun omkring 50 m vest for holdepunktet. Lufthavnen begynder ved volden for enden af vejen.



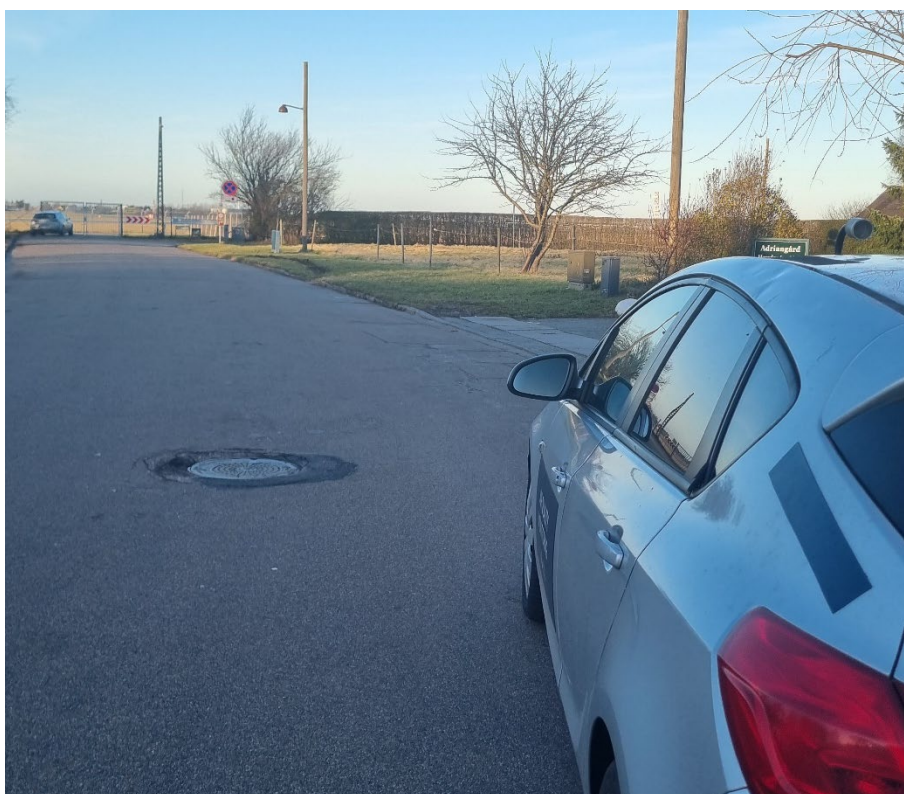
Figur 2.3. Holdepunkt væk fra lufthavn ved transekt Vest 1 (HV1-væk) på Otto Baches Vej. Der er relativt meget trafik på Otto Baches Vej (ÅDT 7600 køretøjer per døgn).



Figur 2.4. Holdepunkt tæt ved lufthavn ved transekt Vest 2 (HV2-lufthavn) på Tømmerup Stationsvej. Der er stort set ingen trafik ved selve holdepunktet.



Figur 2.5. Holdepunkt væk fra lufthavn ved transekt Vest 2 (HV2-lufthavn) ved den vestlige ende af Ugandavej. Der er stort set ingen trafik ved selve holdepunktet, som ligger op til Kalvebod Fælled.



Figur 2.6. Holdepunkt tæt ved lufthavn ved transekt Syd 3 (HS3-lufthavn) ved den nordlige ende af Hovedgaden i Store Magleby. Der er lav trafikintensitet ved selve holdepunktet (ÅDT omkring 700 køretøjer per døgn). For enden af vejen anes hegnet ind til lufthavnen.



Figur 2.7. Holdepunkt væk fra lufthavn ved transekt Syd 3 (HS3-væk). Der er stort set ingen trafik ved selve holdepunktet ved den sydlige ende af Store Magleby Strandvej. Der er omkring 150 m til kysten ved Øresund.



Figur 2.8. Holdepunkt tæt ved lufthavn ved transekt Nord 4 (HN4-lufthavn) ved den sydlige ende af Kastrupvej. Der er meget lidt trafik ved holdepunktet. Motorvejen ligger umiddelbart syd for det levende hegn.



Figur 2.9. Holdepunkt væk fra lufthavn ved transekt Nord 4 (HN4-lufthavn) på Italiensvej. Der er en vis trafik ved selve holdepunktet på Italiensvej (ÅDT 1800 køretøjer per døgn). Holdepunktet ligger omkring 100 m vest for Backersvej med en del trafik (ÅDT 6700 køretøjer per døgn).



Figur 2.10. Holdepunkt lige nord for lufthavn (H-lufthavn-N) på Lufthavnsboulevarden. Der er en hel del trafik ved holdestedet (ÅDT omkring 7100 køretøjer per døgn). Lufthavnsboulevard har relativt høje facader på begge sider af vejen.

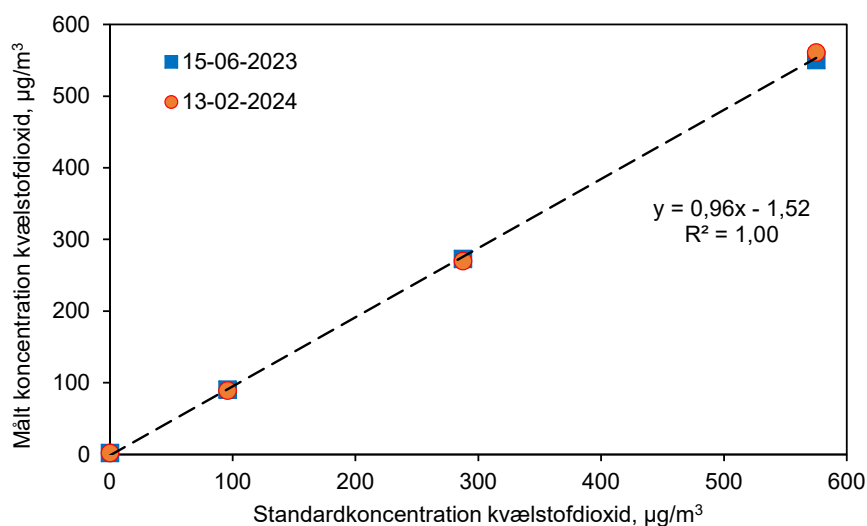


Figur 2.11. Holdepunkt øst for lufthavnen (H-lufthavn-Ø) på sidevej til Kystvejen ved parkeringsanlæggene. Der er stort set ingen trafik ved selve holdepunktet. Holdepunktet ligger omkring 100 m vest for selve Kystvejen (ÅDT 7000 køretøjer per døgn).

2.3 Kalibrering af udstyr og parallelmålinger med måleudstyr anvendt i det nationale målenetværk

Kvælstofdioxidmonitoren er kalibreret i laboratoriet i den første del af måleperioden og efter gennemførslen af de mange målinger. Figur 2.12 viser kalibreringskurverne, som viser, at der er en fin linearitet mellem de målte koncentrationer og standardkoncentrationerne fremstillet i laboratoriet ved hjælp af en NO_x-kalibrator, som producerer en kendt mængde af kvælstofdioxid på basis af certificerede referencegasser med kendt indhold af kvælstofmonoxid. Omdannelsen af kvælstofmonoxid (NO) til kvælstofdioxid sker via kemisk reaktion med ozon.

De to kalibreringer viser, at kvælstofdioxidmonitoren har været stabil igennem måleperioden. Derfor er det valgt at benytte et gennemsnit fra de to kalibreringer til justering af koncentrationerne. Det betyder, at de målte kvælstofdioxidkoncentrationer er beregnet med en justering af nulpunktet med 1,84 µg/m³ (fratrasket) og herefter ganget med en forstærkningsfaktor på 1,04. Nulpunktjustering er baseret på den gennemsnitlige koncentration målt ved tilførslen af luft uden kvælstofdioxid til kvælstofdioxidmonitoren. Efter justering af de målte data er der enkelte måledata, som bliver negative, hvilket skyldes, at disse koncentrationer ligger under detektionsgrænsen og dermed har stor usikkerhed.



Figur 2.12. Kalibreringskurve for kvælstofdioxidmonitor (CAPS NO₂ monitor). Den stiplede linje er beregnet ved lineær regression for alle målepunkterne ved de to kalibreringer af kvælstofdioxidmonitoren.

Det er ikke muligt at foretage en egentlig kalibrering af instrumentet til måling af partikelantallet (vandbaseret CPC) på DCE. Derfor var det planen, at den vandbaserede CPC skulle kvalitetssikres ved at foretage regelmæssige målinger, hvor DCE's målebil var placeret 1½-2 timer tæt ved DCE's målestationer på H.C. Andersens Boulevard og Risø. Ved disse målestationer måles partikelantal rutinemæssigt ved hjælp af såkaldte SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer), som er butanolbaseret og som både kan måle det samlede partikelantal og størrelsesfordelingen for de ultrafine partikler. Disse parallelmålinger havde to formål. For det første skulle de anvendes til sikring af kvaliteten af målingerne med målebilen. For det andet skulle de sikre sammenligneligheden med målingerne foretaget med målebilen omkring lufthavnen og målingerne foretaget i forbindelse med den nationale overvågning af luftkvalitet (NOVANA).

Det viste sig imidlertid, at disse parallelmålinger gav varierende resultater og at der i henhold til disse målinger kunne være en forskel på op til næsten en faktor 3 mellem den vandbaserede CPC i målebilen og SMPS-instrumentet placeret i målestationen på H.C. Andersens Boulevard. Forklaringen er formentligt, at man ikke umiddelbart kan sammenligne målingerne af partikelantal foretaget med målebilen med instrumentet på målestationen. Dette skyldes formentligt navnlig, at målingerne foretages i forskellig højde (målebil omkring 1,8 m og målestation omkring 3,8 m), forskellig afstand til vejtrafikken, forskellige typer indsugningsrør til instrumenterne og ikke mindst to forskellige typer partikeltællere, med forskelligt måleområde (se nedenfor). Varierende meteorologiske forhold vil give forskellige turbulensforhold omkring målestationen, hvilket formodentligt er årsagen til de varierende resultater ved de forskellige parallelmålinger foretaget mellem målebilen og SMPS i målestationen. En anden faktor er også, at parallelmålingerne er foretaget over for kort tid.

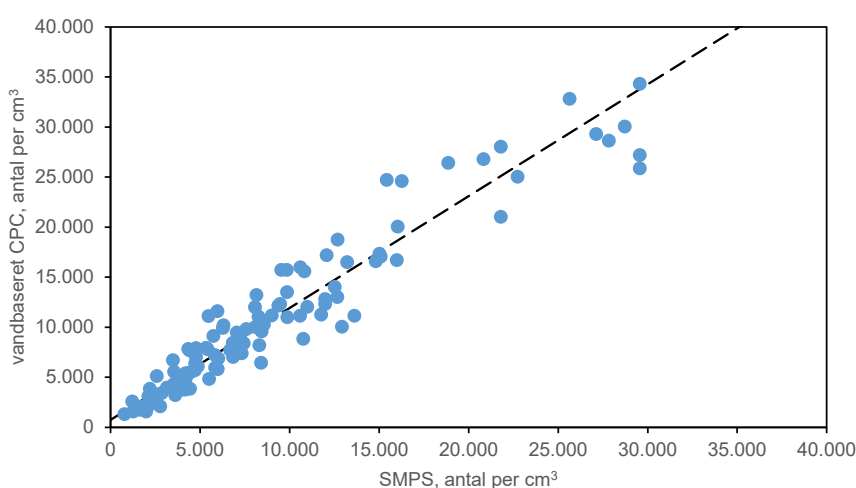
De oprindeligt planlagte parallelmålinger er derfor blevet erstattet af mere direkte sammenligninger mellem instrumenterne. Den vandbaserede CPC blev taget ud af målebilen og ved hjælp af en såkaldt splitter er den vandbaserede CPC koblet direkte på indsugningsrøret på SMPS i målestationen. Splitteren sikrer, at indsugningsluften deles i to, så den vandbaserede CPC og SMPS måler på identisk luft. Disse målinger er gennemført over adskillige dage for

at sikre, at målingerne bliver robuste, og at de dækker varierende meteorologiske forhold og såvel lave som høje partikelantal.

Figur 2.13 viser timemiddelværdier for partikelantal fra parallelmålinger foretaget ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard i perioden fra den 14. februar 2024 kl. 12:00 til den 19. februar 2024 kl. 00:00. Resultaterne viser en god korrelation ($r^2 = 0,90$) med hældningskoefficient på 1,12 og skæring på 739 partikler per cm^3 beregnet ved ortogonal regressionsanalyse. Middelværdierne for måleperioden ligger på 10.900 og 9.100 partikler per cm^3 for henholdsvis den vandbaserede CPC og SMPS, hvilket viser, at den vandbaserede CPC i gennemsnit ligger omkring 20% højere end SMPS. Denne forskel er i god overensstemmelse med tidligere erfaringer med sammenligninger mellem CPC og SMPS. Det hænger sammen med, at målingerne med SMPS udføres med en lidt anden metode end for CPC. Med en SMPS opdeles de ultrafine partikler i mindre størrelsesgrupper og instrumentet tæller sekventielt antallet af partikler i de forskellige størrelsesgrupper over en periode på 3 minutter, mens CPC tæller alle partiklerne inden for måleområdet med en tidsopløsning på 1 sekund.

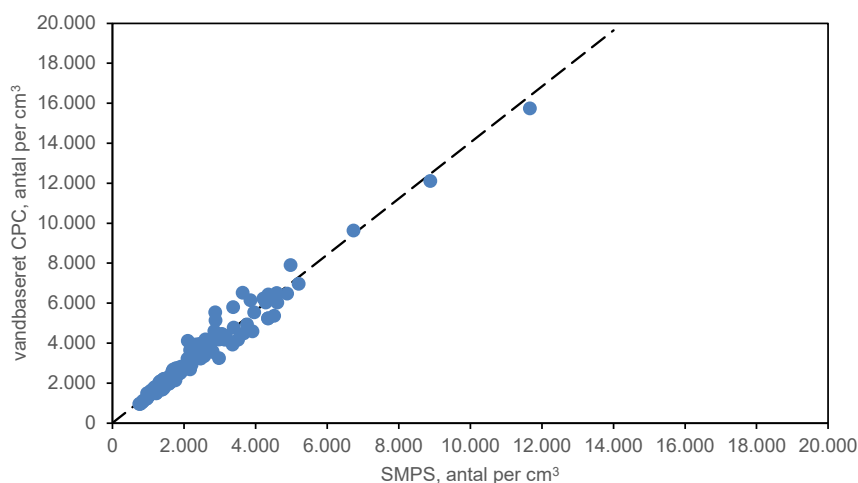
Den vandbaserede CPC har også et lidt større måleområde end SMPS, hvor den vandbaserede CPC angives at inkludere partikler med diameter ned til 7 nm, mens SMPS går ned til 11 nm. Dette er også en medvirkende årsag til, at den vandbaserede CPC ligger omkring 20% højere end SMPS ved H.C. Andersens Boulevard.

Der er en del spredning på resultaterne vist i Figur 2.13, men det vurderes, at spredningen ligger inden for et acceptabelt niveau, når man tager forskellene på de to målemetoder i betragtning. Forskellen i tidsopløsningen er formentlig en stor del af forklaringen på spredningen, da SMPS principielt kun laver en måling hver 3. minut, mens den vandbaserede CPC-måler kontinuert med sekunds opløsning.



Figur 2.13. Timemiddelværdier fra parallelmålinger mellem målebilens vandbaserede CPC og SMPS på gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard. Begge instrumenter suger luft fra samme indtag via en splitter. Målingerne er foretaget fra den 14. februar 2024 kl. 12:00 til den 19. februar 2024 kl. 00:00. Den stiplede linje angiver regressionslinjen beregnet ved hjælp af ortogonal regression. Korrelationskoefficient $r^2 = 0,90$, hældningskoefficient = 1,12 og skæring = 739 partikler per cm^3 .

Figur 2.14 viser timemiddelværdier for partikelantal fra parallelmålinger foretaget ved landbaggrundsmålestationen ved Risø i perioden fra den 5. marts 2024 kl. 13:00 til den 10. marts 2024 kl. 24:00. Resultaterne viser en tilfredsstillende korrelation ($r^2 = 0,95$) med hældningskoefficient på 1,40 og skæring på 11 partikler per cm^3 beregnet ved ortogonal regressionsanalyse. Middelværdierne for måleperioden ligger på 3.370 og 2.390 partikler per cm^3 for henholdsvis den vandbaserede CPC og SMPS, hvilket viser, at den vandbaserede CPC i gennemsnit ligger 40% højere end SMPS. Dette afspejler den ovenfor nævnte forskel mellem de to målemetoder og samtidigt bidrager det også til, at de målte partikelantal er lave og at usikkerheden på målingerne derfor er stor. Den absolutte forskel mellem resultaterne fra de to instrumenter er relativt lav (980 partikler per cm^3) set i forhold til partikelantallet målt i området omkring lufthavnen på 10.000 partikler per cm^3 eller mere, men grundet det lave partikelniveau ved Risø, så ender det med en relativt stor forskel mellem instrumenterne. Alt i alt vurderes det, at begge sammenlignende målinger giver tilfredsstillende overensstemmelse mellem resultaterne fra de to instrumenter.



Figur 2.14. Timemiddelværdier fra parallelmålinger mellem målebilens vandbaserede CPC og SMPS på landbaggrundsmålestationen ved Risø. Begge instrumenter suger luft fra samme indtag via en splitter. Målingerne er foretaget fra den 5. marts 2024 kl. 13:00 til den 10. marts 2024 kl. 24:00. Den stiplede linje angiver regressionslinjen beregnet ved hjælp af ortogonal regression. Korrelationskoefficient $r^2 = 0,95$, hældningskoefficient = 1,40 og skæring = 11 partikler per cm^3 .

2.4 Metode til beregning af estimat af årsmiddelværdierne for ultrafine partikler og kvælstofdioxid

For at kunne sammenligne de målte koncentrationer med grænseværdier (EU, 2008, 2023) og anbefalinger fra WHO (WHO, 2021) er det nødvendigt at beregne et estimat for årsmiddelværdierne ud fra de målte koncentrationer. Det er endvidere lettere at sammenligne estimerede årsmiddelværdier med resultaterne fra de øvrige danske målestationer, hvor årsmiddelværdier allerede foreligger, mens det er en omfattende opgave at beregne middelværdier for målebilens måleperioder fra de øvrige målestationer.

De 43 succesfulde kørsler med målebilens giver en samlet måletid for holdepunkterne på 11 timer og for de én kilometer lange dele af transekterne en samlet måletid på omkring 65 minutter. Målingerne er derfor udtryk for en mindre stikprøve af året, så for at kunne beregne en årsmiddelværdi er det

nødvendigt på bedst mulig måde at korrigere for indvirkningen af de meteorologiske forhold og variation i aktiviteten i lufthavnen og vejtrafikken. Det er dog langt fra muligt at tage alle disse variationer med i betragtning, så derfor er det valgt at tage højde for de mest betydelige variationer.

2.4.1 Korrektion for meteorologiske forhold - vindretning

Vindretning er den allervigtigste meteorologiske parameter for den geografiske variation i luftforureningen omkring lufthavnen. Det hænger sammen med, at målingerne foretages så at sige rundt om en af de mest dominerede kilder i området (effekten af vindretning illustreres i Kapitel 3). For at korrigere for effekten af vindretningen er der lavet følgende:

- Resultaterne fra holdepladserne og transekterne er grupperet efter vindretningen ved den pågældende måletur. Resultaterne er grupperet i fire sektorer: Nord (0-45 grader + 315-360 grader), Øst (45-135 grader), Syd (135-225 grader) Vest (225-315 grader).
- For hver af disse vindretningssektorer beregnes middelværdierne ved de enkelte holdepunkter og transekter.
- Årsmiddelværdien for det enkelte holdepunkt eller del af transekt estimeres herefter ved at vægte det målte gennemsnit for en given vindretningssektor med procentdelen af året, hvor det blæser fra den pågældende vindretning. Matematisk kan dette udtrykkes på følgende vis for til eksempel et holdepunkt:

$$C_{\text{år-dag}} = (N_{\text{hyp}} * C_N) + (Ø_{\text{hyp}} * C_Ø) + (S_{\text{hyp}} * C_S) + (V_{\text{hyp}} * C_V)$$

$C_{\text{år-dag}}$ er den estimerede middelværdi for dagtimerne for et år for et målepunkt, idet målebilen kun har kørt om dagen og ikke om natten (se følgende afsnit), N_{hyp} er hyppighed af vindretning fra nord i 2023, C_N er den gennemsnitlige koncentration ved holdepunktet ved nordlige vindretninger og på tilsvarende vis for de andre vindretninger.

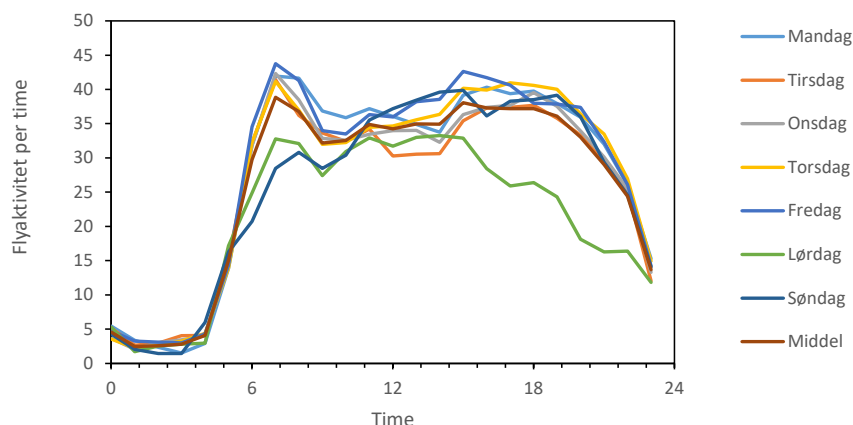
Vindhastighed, temperatur og nedbør er også vigtige parametre, men her vurderes det, at de 43 "relativt tilfældigt" udvalgte tidspunkter for målingerne vil være en tilstrækkeligt god stikprøve for de gennemsnitlige forhold i 2023. Når der skrives "relativt tilfældigt" udvalgte tidspunkter, så hænger det sammen med, at det ofte har været nødvendigt at tage praktiske hensyn i forbindelse med tilrettelæggelsen af køreturene, men omvendt så har de meteorologiske forhold ikke været taget med i betragtning, når køretidspunkterne er blevet udvalgt.

2.4.2 Korrektion for manglende målebilkørsler om natten

Da der er få fly, der letter og lander om natten, så har det været prioriteret, at køreturene blev foretaget om dagen. Det er derfor nødvendigt at korrigere for, at luftkoncentrationerne i gennemsnit er lavere om natten end om dagen.

Flyaktiviteten (antal afgang plus ankomster) vurderes at være en god indikator for aktiviteterne i lufthavnen og dermed også udledningerne. Figur 2.15 viser den gennemsnitlige døgnvariation for flyaktiviteten i lufthavnen. Der er nogenlunde ens døgnvariation alle syv ugedage, bortset fra at aktiviteten er lavere lørdag og søndag morgen, men bortset fra dette ses et døgnmønster med en kraftig stigning i aktiviteten fra klokken 6 om morgenen, hvorefter

niveauet forbliver på et relativt højt niveau indtil sidst på aftenen. Herefter falder aktiviteten mærkbart og mellem kl. 23:00 og 06:00 om morgenen er aktiviteten omkring 7% af den samlede døgnmiddelaktivitet.



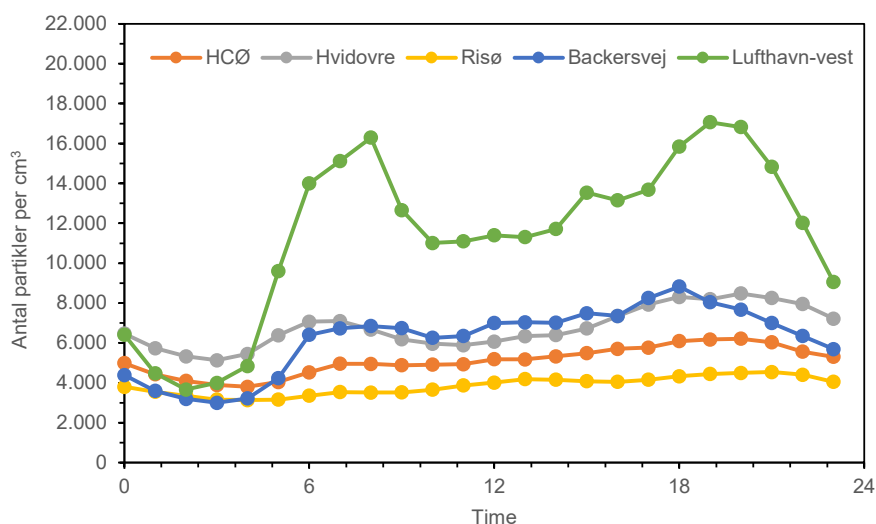
Figur 2.15. Den gennemsnitlige flyaktivitet i 2023 fordelt på ugedag og timer samt middel for året. Flyaktivitet er antal afgang plus ankomster. Data er leveret af Peter Schøn, Københavns Lufthavne A/S. Tidspunkt angives som dansk normaltid.

For vejtrafik ses ligeledes en væsentlig døgnvariation i trafikintensiteten, hvilket giver døgnvariation i udledningerne og den resulterende luftforurening. Boligopvarmning med fast brændsel og de kemiske reaktioner i atmosfæren vil også give anledning til en døgnvariation i antallet af ultrafine partikler og koncentrationerne af kvælstofdioxid. I området omkring lufthavnen vil døgnvariationen derfor være en kombination af døgnvariationen af alle disse kilder.

Figur 2.16 viser den gennemsnitlige døgnvariation for antallet af ultrafine partikler ved bybaggrundsmålestationen ved H.C. Ørsted Institut, forstadsmålestationen i Hvidovre, landbaggrundsmålestationen ved Risø, gademålestationen på Backersvej og målestationer i den vestlige udkant af lufthavnens område (Lufthavn-vest). Dette udvalg af målestationer forventes at svare til det spænd af forhold, som ses i området omkring lufthavnen. Landbaggrundsmålestationen ved Risø forventes at repræsentere målelokaliteter med lave koncentrationer og lille påvirkning fra meget lokale kilder, hvor tilsvarende ses ved målelokaliteterne længst væk fra lufthavnen på de to transekter Vest 2 og Syd 3. Målestationen Lufthavn-vest forventes at repræsentere de høje koncentrationer tæt på lufthavnen, hvor der er relativt stor påvirkning fra lokale kilder, hvilket navnlig er lufthavnen. Ved Risø ses en lille døgnvariation, hvor partikelantal er stort set lige så højt om natten som om dagen, mens der ved Lufthavn-vest ses stor forskel med niveauer om dagen der ligger 3-4 gange højere end om natten. På trods af disse store forskelle så ligger niveauet om natten på et forholdsvis ens niveau for alle stationer. Tabel 2.2 angiver det gennemsnitlige antal partikler om natten (kl. 23:00 til 6:00) for de udvalgte målestationer sammen med gennemsnit fra resten af døgnet, hele døgnet og forskel mellem nat og dag. Gennemsnit om natten mellem 23:00 - 06:00 har det mindste partikelantal med 3.500 partikler per cm^3 ved Risø og det højeste på 6.000 partikler per cm^3 ved Hvidovre og Lufthavn-vest. Gennemsnit om natten ligger på 4.450 partikler per cm^3 for HCØ, Risø, Hvidovre og Backersvej, og det er dette gennemsnit, som er vurderet til at være det mest repræsentative for målebilens måleområde. Korrektion for variation mellem dag og nat er derfor beregnet på følgende vis:

$$UFP_{\text{korrigeret}} = UFP_{\text{år-dag}} * 17/24 + 4.450 * 7/24$$

$UFP_{\text{korrigeret}}$ er estimeret for årsmiddelværdien efter korrektion for variation mellem dag og nat og $UFP_{\text{år-dag}}$ er middelværdi for dagtimerne (6:00 – 23:00) for et år, som beregnet efter korrektion for vindretning (Afsnit 2.4.1). $UFP_{\text{år-dag}}$ vurderes at være repræsentativ for de 17 timer mellem kl. 6:00 og 23:00 og 4.450 partikler per cm^3 er repræsentativ for natten mellem 23:00 og 6:00.



Figur 2.16. Den gennemsnitlige døgnvariation i timemiddelværdier for antal partikler i 2023 for bybaggrundsmålestationen ved H.C. Ørsted Institutttet, forstadsmålestationen i Hvidovre, landbaggrundsmålestationen ved Risø, Københavns Kommunes gademålestation på Backersvej (Kristensen, 2024) og lufthavnens målestation i den vestlige udkant (Lufthavn-vest; Schön, 2024). Enhed er antal partikler per cm^3 . Data for H.C. Ørsteds Institutttet, Hvidovre og Risø er korrigeret med faktor 1,4 svarende til forskel mellem målinger med vandbaseret CPC og SMPS (Afsnit 2.3), da dette vurderes at give den mest korrekte grundlag for korrektion af data fra den vandbaserede CPC i målebilen.

Tabel 2.2. Gennemsnitligt antal partikler i 2023 for nat, dag og hele døgnet samt forskel mellem nat og dag for bybaggrundsmålestationen ved H.C. Ørsted Institutttet, forstadsmålestationen i Hvidovre, landbaggrundsmålestationen ved Risø, Københavns Kommunes gademålestation på Backersvej (Kristensen, 2024) og lufthavnens målestation i den vestlige udkant (Lufthavn-vest; Schön, 2024). Enhed er antal partikler per cm^3 . Data for H.C. Ørsteds Institutttet, Hvidovre og Risø er korrigeret med faktor 1,4 svarende til forskel mellem målinger med vandbaseret CPC og SMPS (Afsnit 2.3), da dette vurderes at give den mest korrekte grundlag for korrektion af data fra den vandbaserede CPC i målebilen.

	Bybaggrund HCØ	Forstad Hvidovre	Landbaggrund Risø	Gade Backersvej	Lufthavn Lufthavn-vest
Nat (23:00-06:00)	4.400	6.000	3.500	3.900	6.000
Dag (06:00-23:00)	5.400	7.100	4.000	7.100	13.600
Hele døgnet	5.100	6.800	3.900	6.200	11.400
Forskel mellem nat og dag, %	19	15	13	45	56

Figur 2.17 viser den gennemsnitlige døgnvariation for timemiddelkoncentrationerne af kvælstofdioxid ved bybaggrundsmålestationen ved H.C. Ørsted Institutttet, forstadsmålestationen i Hvidovre, landbaggrundsmålestationen ved Risø, gademålestationen på Backersvej og målestationer i den vestlige og østlige udkant af lufthavnens område (Lufthavn-vest og Lufthavn-øst). Data for DCE's målestationer er for 2022 (data for 2023 er desværre ikke kvalitets-

sikret endnu), mens data for de øvrige målestationer er for 2023. Denne forskel vurderes ikke at have den store betydning, da der kun forventes mindre forskel i døgnvariationen mellem 2022 og 2023.

Lige som for de ultrafine partikler, så vurderes det, at dette udvalg af målestationer vil svare til det spænd af forhold, som ses i området omkring lufthavnen. Landbaggrundsmålestationen ved Risø forventes at repræsentere målelokalteter med lave koncentrationer og lille påvirkning fra meget lokale kilder, hvor tilsvarende ses ved målelokaliteterne længst væk fra lufthavnen på de to transekter Vest 2 og Syd 3. Målestationerne Lufthavn-vest og Lufthavn-øst forventes at repræsentere de høje koncentrationer tæt på lufthavnen, hvor der er relativt stor påvirkning fra lokale kilder, hvilket navnlig er lufthavnen. Ved Risø ses en lille døgnvariation, hvor partikelantal er stort set lige så højt om natten som om dagen, mens der ved Lufthavn-vest og Lufthavn-øst ses større forskel mellem dag og nat - om end der ikke er nær så stor forskel som for de ultrafine partikler med niveauer om dagen, der ligger 3-4 gange højere end om natten. Tabel 2.3 angiver gennemsnitskoncentrationerne om natten (kl. 23:00 til 6:00) for de udvalgte målestationer sammen med gennemsnit fra resten af døgnnet, hele døgnnet og forskel mellem nat og dag. Forskellen mellem dag og nat er mindre for kvælstofdioxid end for antallet af ultrafine partikler, hvor højeste forskel på 22% ses ved bybaggrundsmålestationen på H.C. Ørsted Instituttet og mindste forskel ses ved Risø med forskel på -0,7 %. Endvidere skal det bemærkes, at forstadsstationen i Hvidovre stikker lidt ud, idet koncentrationen er lidt højere om natten end om dagen.

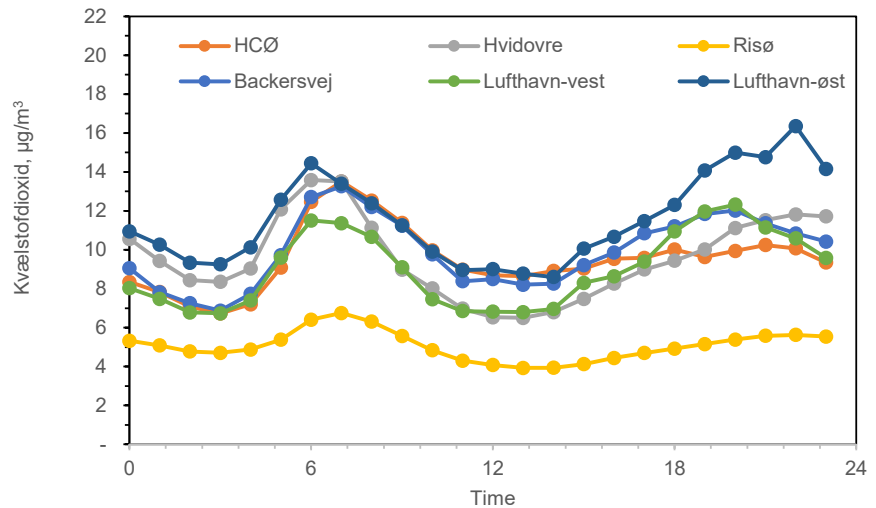
Da forskellen mellem dag og nat relativt set er mindre for de forskellige målestationer, så er det for kvælstofdioxid valgt at lave korrektion mellem dag og nat, ved at reducere middelkoncentrationerne om natten med 9% set i forhold til de målte middelkoncentrationer om dagen. De 9% er beregnet som gennemsnit af middelkoncentrationerne for H.C. Ørsted Instituttet, Risø, Hvidovre og Backersvej, som er vurderet til at være det mest repræsentative for målebilens måleområde. Korrektion for variation mellem dag og nat er derfor beregnet på følgende vis:

$$\text{NO}_2 \text{ korrigeret} = \text{NO}_2 \text{ år-dag} * 17/24 + 0,91 * \text{NO}_2 \text{ år-dag} * 7/24$$

NO_2 korrigeret er estimat for årsmiddelværdien efter korrektion for variation mellem dag og nat, og NO_2 år-dag er middelværdi om dagen for et år, som beregnet efter korrektion for vindretning (Afsnit 2.4.1). NO_2 år-dag vurderes at være repræsentativ for de 17 timer mellem kl. 6:00 og 23:00, og $0,91 * \text{NO}_2$ år-dag er repræsentativ for natten mellem 23:00 og 6:00.

Korrektionen mellem dag og nat ender med at give en reduktion på 2,5%, hvilket hænger sammen med, at natten i denne sammenhæng kun er sat til at være 7 timer ud af døgnets 24 timer.

Korrektionen for forskel mellem nat og dag for antallet af ultrafine partikler og koncentrationerne af kvælstofdioxid er ikke lige god for alle målesteder i måleområdet. Usikkerhederne på korrektionerne vurderes til at være væsentligt mindre end andre usikkerheder på de estimerede årsmiddelværdier, så korrektionsmetoderne vurderes derfor til at være tilstrækkeligt gode til formålet.



Figur 2.17. Den gennemsnitlige døgnvariation i timemiddelværdier for koncentrationen af kvælstofdioxid i 2022 for bybaggrundsmålestationen ved H.C. Ørsted Institutet, forstads målestationen i Hvidovre, landbaggrundsmålestationen ved Risø og i 2022 for Københavns Kommunes gademålestation på Backersvej (Kristensen, 2024) og lufthavnens målestationer i den vestlige og østlige udkant (Lufthavn-vest og Lufthavn-øst; Schön, 2024). Enhed er $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tablet 2.3. Middelkoncentration for kvælstofdioxid nat, dag og hele døgnet samt forskel mellem nat og dag for bybaggrundsmålestationen ved H.C. Ørsted Institutet, forstads målestationen i Hvidovre, landbaggrundsmålestationen ved Risø, Københavns Kommunes gademålestation på Backersvej (Kristensen, 2024) og lufthavnens målestationer i den vestlige og østlige udkant (Lufthavn-vest og Lufthavn-øst; Schön, 2024). For H.C. Ørstedes Institutet, Hvidovre og Risø er middelværdierne for 2022, mens der er for 2023 for de øvrige målestationer. Enhed er $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

	Bybaggrund	Forstad	Landbaggrund	Gade	Lufthavn	Lufthavn
	HCØ	Hvidovre	Risø	Backersvej	Lufthavn-vest	Lufthavn-øst
Nat (23:00-06:00)	7,9	9,9	5,1	8,4	7,9	11,0
Dag (06:00-23:00)	10,2	9,5	5,1	10,6	9,5	11,8
Hele døgnet	9,5	9,6	5,1	9,9	9,0	11,6
Forskel mellem nat og dag, %	22	-5,2	-0,7	20	16	8

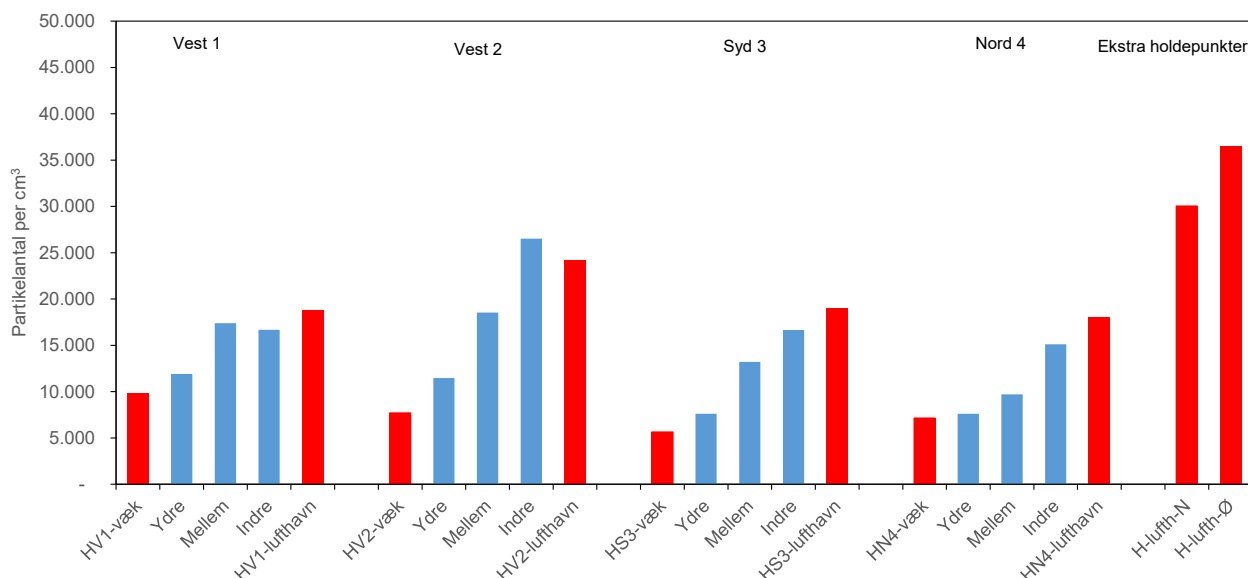
3 Resultater fra målingerne omkring lufthavnen i Kastrup

De første kørsler med måling af partikelforurening omkring lufthavnen blev gennemført juli 2022. Efter et par succesfulde kørsler gik måleinstrumentet imidlertid i stykker, hvorefter det først har været muligt at genoptage mere systematiske målinger i begyndelsen af 2023. Den oprindelige plan med en ugentlig kørsel er derfor justeret, så der i sidste halvdel af 2023 og begyndelsen af 2024 er blevet kørt to til tre kørsler ugentligt. På den måde er det lykkedes at gennemføre 43 succesfulde kørsler i perioden fra den 13. februar 2023 til den 25. januar 2024. Tabel 3.1 angiver tidspunkterne for de succesfulde kørsler sammen med data for de gennemsnitlige meteorologiske forhold under kørslerne.

3.1 Resultaterne for antallet af ultrafine partikler

3.1.1 Måleresultaterne

Figur 3.1 og Tabel 3.1 viser oversigt over målte gennemsnitlige antal ultrafine partikler ved holdepunkterne (røde søjler) og de fire transekter (blå søjler). Sammenlagt er der målinger fra 43 dage á 15 minutter for hvert holdepunkt, og typisk omkring 1,8 minutter for hver del af transekterne. Tiden for gennemkørsel af transekterne varierer dog fra gang til gang grundet trafikken, og alle transekter er heller ikke præcist lige lange. Målingerne ved holdepunkterne er derfor mere robuste end målingerne ved de enkelte dele af transekter. Hertil kommer, at målingerne ved holdepunkterne er foretaget, mens bilen holder parkeret, og målingerne langs transekterne er foretaget under kørsel på vejen og de vil derfor være påvirket af de daglige variationer i trafikken.



Figur 3.1. Gennemsnitlige partikelantal for de 43 kørsler i perioden fra 13. januar 2023 til 25. januar 2024. Røde søjler viser gennemsnit ved de 15-minutters holdepunkter og blå søjler gennemsnit for ydre, mellem og indre dele af transekterne. Data vises for de fire transekter fra venstre mod højre i følgende rækkefølge: Vest 1, Vest 2, Syd 3 og Nord 4. Til højre vises data for de to ekstra holdepunkter. "Hxx-væk" angiver holdepunkt længst fra lufthavnen og "Hxx-lufthavn" holdepunkt nærmest ved lufthavnen, hvor de to x-er angiver transektet. Placering af transekter og holdepunkter kan ses i Figur 2.1.

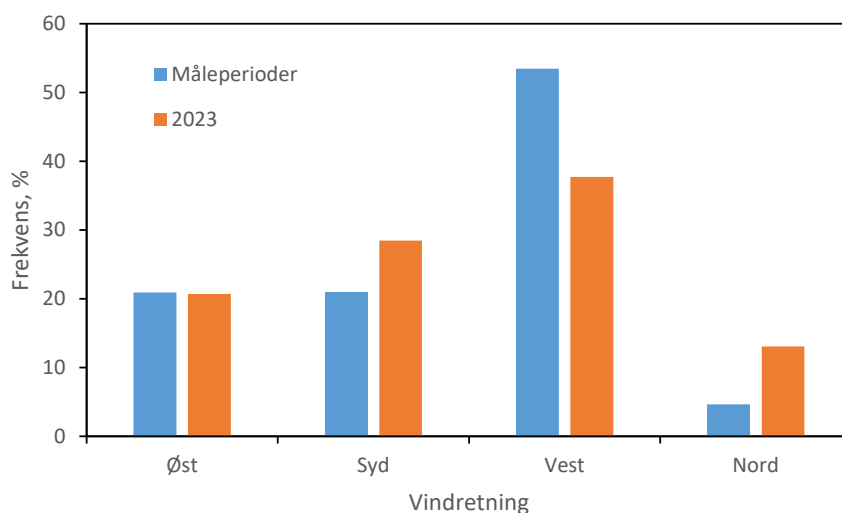
Tabel 3.1. Tidspunkter for gennemførelse af de 43 kørsler samt meteorologiske forhold under kørslerne. Gennemsnit er beregnet som middel for timemiddelværdier, der dækker tidsrummet for kørslerne. Stdev angiver standardafvigelsen, som er inkluderet for at give indikation af stabiliteten af vejret under kørslesperioden. De meteorologiske data er fra DMI.

Dato	Start DK-normaltid	Slut	Varighed Timer og minutter	Vindretning		Vindhastighed		Temperatur		Nedbør		
				Middel grader	Stdev grader	Middel m/s	Stdev m/s	Middel °C	Stdev °C	Sum mm	Stdev mm	
23-02-13	09:30	13:07	03:36	283	7	6,9	0,1	8	0,8	0,0	0,0	
23-03-20	15:22	19:05	03:43	270	13	4,9	0,5	7	0,5	0,0	0,0	
23-03-24	16:04	19:43	03:38	243	5	8,8	1,6	9	1,4	0,0	0,0	
23-03-29	09:49	13:31	03:41	211	4	6,0	0,3	5	0,9	0,1	0,1	
23-04-30	17:30	21:05	03:35	298	3	3,9	2,0	9	0,8	0,0	0,0	
23-05-03	08:48	13:09	04:21	229	144	2,3	1,1	10	0,7	0,0	0,0	
23-05-10	07:46	12:55	05:09	126	2	7,9	1,0	13	1,2	0,0	0,0	
23-05-23	19:07	22:43	03:36	290	5	4,0	0,2	12	0,2	0,0	0,0	
23-06-30	16:21	20:06	03:45	282	6	4,9	0,2	20	0,6	0,0	0,0	
23-07-03	19:10	22:45	03:34	237	8	6,6	0,3	14	0,2	0,3	0,1	
23-07-11	15:33	19:06	03:32	142	3	6,3	0,7	21	0,3	0,0	0,0	
23-07-20	09:10	12:47	03:36	259	6	6,7	0,5	17	1,2	0,0	0,0	
23-07-26	09:16	12:50	03:34	241	3	6,9	0,6	18	1,0	0,0	0,0	
23-08-07	17:55	21:25	03:30	258	2	11,0	0,3	15	0,3	0,1	0,1	
23-08-19	20:18	23:49	03:30	116	18	4,4	1,7	19	1,1	9,1	4,6	
23-08-26	18:49	22:20	03:31	257	18	3,6	0,9	16	1,4	0,0	0,0	
23-09-03	18:17	21:58	03:41	245	31	3,0	0,5	17	0,7	0,0	0,0	
23-09-14	11:20	15:06	03:46	234	21	3,7	0,5	18	0,1	0,0	0,0	
23-09-21	13:53	17:25	03:32	144	10	6,6	0,5	21	0,9	0,0	0,0	
23-09-28	14:46	18:16	03:30	204	16	4,4	0,7	20	1,1	0,0	0,0	
23-10-03	13:26	17:01	03:35	244	30	10,6	1,0	17	2,7	0,1	0,1	
23-10-04	14:26	17:59	03:33	260	13	7,2	1,8	15	1,0	0,4	0,2	
23-10-10	15:18	18:50	03:32	192	5	6,6	0,3	14	0,2	0,9	0,3	
23-10-11	12:58	16:36	03:38	229	8	9,3	1,3	17	1,1	2,9	1,4	
23-10-17	16:26	20:05	03:39	259	10	4,8	0,9	10	0,9	0,0	0,0	
23-10-19	08:36	12:08	03:32	79	2	11,2	0,4	8	0,4	0,0	0,0	
23-10-23	08:46	12:20	03:34	238	3	5,8	0,7	11	0,8	0,0	0,0	
23-10-26	08:53	12:30	03:37	58	2	6,4	0,5	8	0,1	0,0	0,0	
23-10-31	10:54	14:32	03:37	3	16	6,2	1,4	9	0,4	6,1	0,4	
23-11-01	11:27	15:02	03:34	163	30	4,3	1,2	7	0,2	0,0	0,0	
23-11-06	13:20	16:59	03:38	232	4	7,5	0,5	11	0,6	0,0	0,0	
23-11-07	13:25	17:05	03:40	225	5	6,4	0,7	10	0,4	2,0	0,7	
23-11-19	17:16	20:51	03:35	100	5	6,3	0,4	4	0,2	0,7	0,2	
23-11-22	13:58	17:37	03:39	220	3	10,5	1,7	5	0,1	0,2	0,1	
23-11-28	08:25	11:55	03:29	16	6	6,7	0,2	-5	0,7	0,0	0,0	
23-11-30	09:58	13:47	03:48	60	3	7,6	0,7	-1	0,1	0,0	0,0	
23-12-03	16:54	20:38	03:44	115	84	0,6	0,2	-1	0,2	0,0	0,0	
23-12-13	08:30	12:07	03:37	56	11	7,0	0,2	0	0,2	0,0	0,0	
23-12-19	12:42	16:16	03:33	258	22	3,3	0,7	7	0,7	4,0	0,5	
23-12-20	14:45	18:18	03:33	267	6	8,0	0,7	4	0,6	0,0	0,0	
24-01-16	12:45	16:27	03:42	126	9	4,6	1,2	-4	0,7	0,0	0,0	
24-01-17	06:09	09:46	03:37	188	2	12,4	0,4	-1	0,3	1,0	0,1	
24-01-25	13:19	16:54	03:35	305	13	4,5	0,3	6	0,9	0,0	0,0	
Middel vindhastighed og temperatur for måleperioderne						6,3		10,3				
Samlet nedbørsmængde for måleperioderne										28		

Tabel 3.1. Gennemsnitlige, højeste og laveste partikelantal fra 43 kørsler i perioden fra 13. januar 2023 til 25. januar 2024. Enhed en antal partikler per cm³.

	Holdepunkt Væk	Ydre	Transekt Mellem	Indre	Holdepunkt Lufthavn
Vestlig transekt 1					
Gennemsnit	10.000	11.900	17.400	16.700	18.700
Højeste	32.000	39.200	75.000	118.700	137.000
Laveste	2.400	2.400	2.800	2.600	2.600
Vestlig transekt 2					
Gennemsnit	7.700	11.500	18.500	26.500	24.100
Højeste	65.600	72.900	101.700	140.900	110.000
Laveste	1.500	1.800	1.900	2.200	2.100
Sydlig transekt 3					
Gennemsnit	5.600	7.600	13.200	16.700	19.400
Højeste	24.800	27.100	65.100	76.500	139.100
Laveste	600	1.400	1.500	1.600	1.200
Nordlig transekt 4					
Gennemsnit	7.200	7.600	9.700	15.100	18.000
Højeste	26.500	34.300	59.300	103.800	131.400
Laveste	700	800	1.300	1.100	1.400
Ekstra Holdepunkter		Lufthavn Nord		Lufthavn Øst	
Gennemsnit		30.400		36.500	
Højeste		144.500		206.100	
Laveste		2.400		1.100	

I gennemsnit for de hidtidige målinger måles de højeste partikelantal ved holdepunkterne tæt ved lufthavnen (HV1 lufthavn, HV2 lufthavn, HS3 lufthavn, HN4 lufthavn, H-lufthavn-N og H-lufthavn-Ø). Partikelantal ligger i intervallet fra 18.000 til 36.000 partikler per cm³ med gennemsnit på 21.000 partikler per cm³. Det langt højeste antal partikler ses ved holdepunktet øst for lufthavnen (H-lufthavn-Ø), hvilket hænger sammen med, at vest er den mest hyppige vindretning, og det er også den hyppigste vindretning i forbindelse med de hidtidige målinger (Figur 3.2).



Figur 3.2. Frekvens af vindretninger i 2023 og for alle måleperioderne. Vindretninger er målt af DMI. Inddeling i vindretningssektorer er sket på følgende måde: Nord (0-45 grader + 315-360 grader), Øst (45-135 grader), Syd (135-225 grader) og Vest (225-315 grader).

De laveste partikelantal ved holdepunkterne måles væk fra lufthavnen (HV1-væk, HV2-væk, HS3-væk og HN4-væk), hvor partikelantallet ligger i intervallet fra 6.000 til 10.000 partikler per cm^3 med gennemsnit på 8.000 partikler per cm^3 . Niveaulet er nogenlunde ensartet ved de fire holdepunkter væk fra lufthavnen, om end der ved holdepunkt HV1-væk ses det højeste partikelantal. Dette hænger sammen med, at holdepunkt HV1-væk er mere påvirket af den lokale trafik end de tre andre holdepunkter.

Målingerne langs transekterne viser overordnet set, at partikelantallet aftager med afstanden til lufthavnen, hvilket er forventeligt, da lufthavnen er langt den største kilde til ultrafine partikler i området omkring lufthavnen.

For transekt Vest 2 ses dog, at den indre del af transektet ligger højere end målt ved holdepunktet tæt ved lufthavnen. Dette skyldes formentligt, at målingerne med målebilen bliver påvirket af den trafik, som målebilen kører i. Ved kørsel langs transekterne er det forsøgt at undgå kørsel i tæt trafik og at undgå at køre for tæt på for eksempel en forankørende lastvogn. I praksis er det imidlertid umuligt helt at undgå påvirkning fra den trafik, som bilen kører i. Det er derfor sandsynligt, at det høje partikelantal for den indre del af transekt Vest 2 skyldes direkte påvirkning fra den kørende trafik. Dette underbygges også af resultaterne fra måling af kvælstofdioxid (Figur 3.7).

For transekt Vest 1 ses, at mellemste del ligger højere end den inderste del, hvilket formentligt også bedst kan forklares med påvirkning fra den øvrige kørende trafik. Den del af transektet passerer Englandsvej, som med omkring 30.000 køretøjer dagligt er en af de mest trafikerede veje i området, når man ser bort fra motorvejen (Jensen et al., 2021).

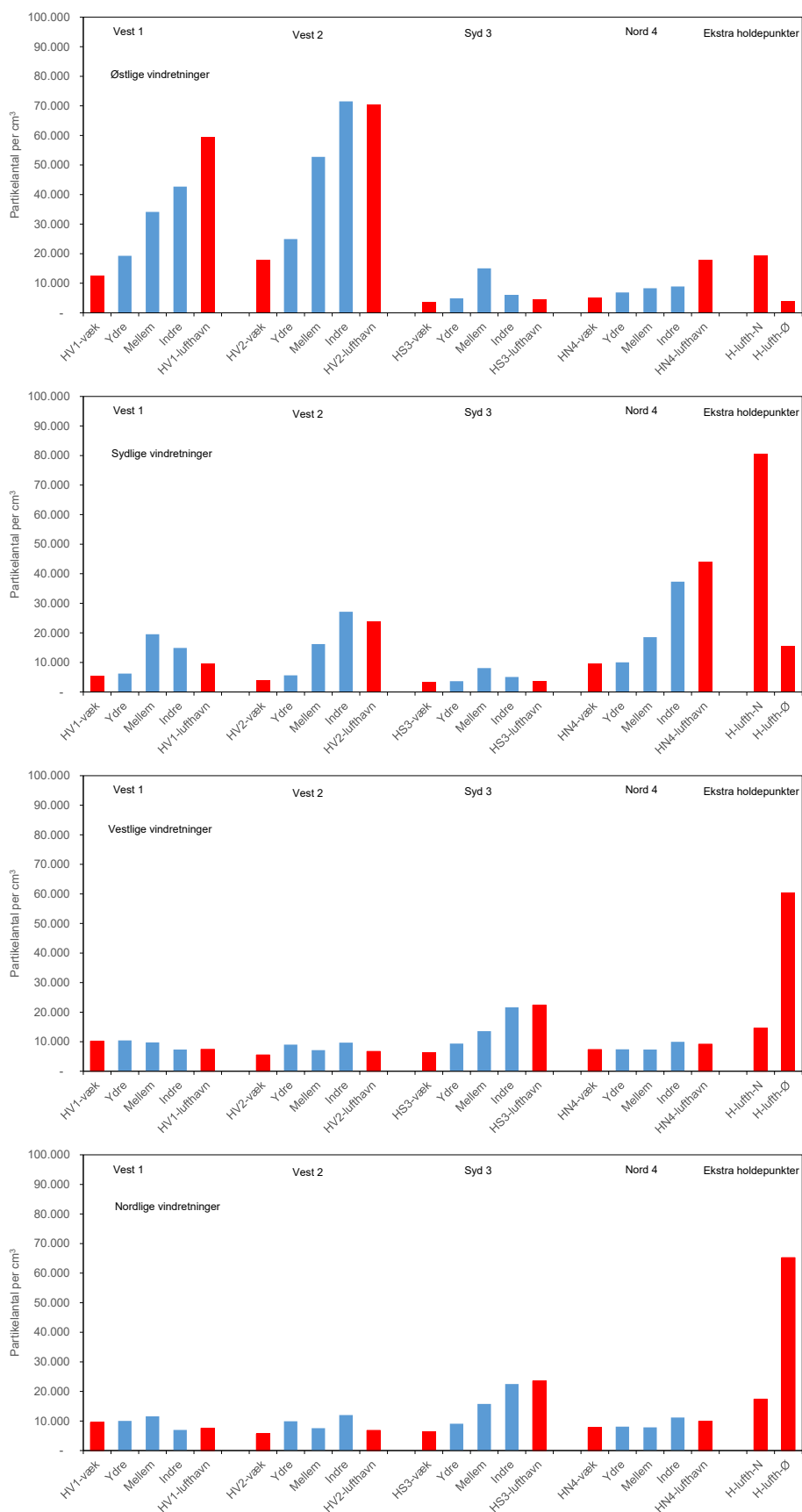
Figur 3.3 viser gennemsnitlige partikelantal opdelt i forhold til vindretningerne under kørslerne, hvor resultaterne fra kørslerne er opdelt i østlige vindretninger (45-135 grader), sydlige vindretninger (135-225 grader), vestlige vindretninger (225-315 grader) og nordlige vindretninger (315-360 + 0-45 grader),

Øverst ses gennemsnitligt partikelantal for de 9 kørsler, hvor vinden kommer fra øst (45 til 135 grader). Ved østlige vindretninger blæser luften fra Øresund ind til lufthavnen, passerer gennem lufthavnsområder og til området vest for lufthavnen. Her ses et helt andet billede end for gennemsnit af alle kørsler (Figur 3.1). Ved holdepunkt øst for lufthavnen (H-lufthavn-øst) måles partikelantallet i den luft, der med vinden kommer fra Øresund ind til lufthavnen og her måles i gennemsnit omkring 4.000 partikler per cm^3 . Ved det sydlige transekt måles også lavt partikelantal (3.700 partikler per cm^3), hvilket formentligt skal tilskrives, at luften kommer fra Øresund og føres med vinden over til det sydlige transekt, inden den har passeret lufthavnsområdet.

Ved de to holdepunkter umiddelbart vest for lufthavnen måles partikelantallet efter, at luften har passeret gennem lufthavnen, og her måles partikelantal på omkring 60.000 og 70.000 partikler per cm^3 for henholdsvis HV1-lufthavn og HV2-lufthavn. Herefter falder partikelantallet gradvist og omkring 3 km fra lufthavnen er partikelantallet faldet til omkring 12.000 partikler per cm^3 , ved HV1-væk og 18.000 partikler per cm^3 ved HV2-væk. Dette er tre til fire gange højere end partikelantallet i den luft, som blev målt opstrøms for lufthavnen ved holdepunktet øst for lufthavnen (H-lufthavn-øst). Årsagen til de højere niveauer er dels de mere generelle udledninger fra andre kilder i området (vejtrafik, boligopvarmning, industri) og dels at der under østlige vindforhold fortsat kan ses en påvirkning fra lufthavnen ved de to målepunkter omkring 3 km fra lufthavnen. På trods af at der fortsat er en påvirkning fra lufthavnen ved den vestlige ende af transekterne, så måles der er et betragteligt fald langs transekterne, hvor partikelantallet ved holdepunkterne væk fra lufthavnen er faldet til omkring 20-25% af partikelantallet ved holdepunkterne tæt ved lufthavnen. Faldet i partikelantal vest for lufthavnen skyldes fortynding af udledningerne fra lufthavnsområdet med den øvrige luft og de kemiske og fysiske processer i luften.

Det højeste partikelantal måles ved den inderste del af transekt Vest 2 (Figur 3.2). Når der her måles højere partikelantal end ved holdepunktet HV2-lufthavn, så kan det være fordi, kørslen på den indre del af transekt Vest 2 foregår på relativt tæt trafikerede veje, og at vejtrafikken dermed giver et ekstra bidrag til partikelantallet.

På det nordlige transekt måles også forhøjede partikelantal for den del, der ligger tættest ved lufthavnen. Dette hænger sammen med, at vindretninger fra 90 grader til 135 grader, som regnes med til de østlige vindretninger, vil blæse luften fra Øresund hen over den nordlige del af lufthavnen til det sydlige holdepunkt på det nordlige transekt (HN4-lufthavn) og den indre del af det nordlige transekt.



Figur 3.3. Gennemsnitlige partikelantal for 43 kørsler i perioden fra 13. januar 2023 til 25. januar 2024 opdelt efter vindretning: Østlig vindretning (9 stk.), sydlig vindretning (9 stk.), vestlig vindretning (23 stk.) og nordlig vindretning (2 stk.). Røde søjler viser gennemsnit ved de 15-minutters holdepunkter og blå søjler gennemsnit for ydre, mellem og indre dele af transektterne. Data vises for de fire transekter fra venstre mod højre i følgende rækkefølge: Vest 1, Vest 2, Syd 3 og Nord 4. Til højre vises data for de to ekstra holdepunkter. "Hxx-væk" angiver holdepunkt længst fra lufthavnen og "Hxx-lufthavn" holdepunkt nærmest ved lufthavnen, hvor de to x-er angiver transektet. Placering af transekter og holdepunkter kan ses i Figur 2.1.

For sydlige, vestlige og nordlige vindretninger (Figur 3.3) ses tilsvarende billede, som tydeligt viser, at det gennemsnitlige partikelantal er lavt opstrøms for lufthavnen og meget højere nedstrøms for lufthavnen. For de vestlige vindretninger er der udført 23 kørsler, så derfor vurderes det, at disse resultater er meget robuste. For de sydlige vindretninger er der gennemført 9 kørsler, mens der for de nordlige vindretninger kun er gennemført to kørsler. Det er derfor klart, at der er større usikkerhed på resultaterne for navnlig de nordlige vindretninger. På trods af dette, så stemmer det kvalitative billede fint overens med forventningerne med relativt lave partikelantal for de vestlige og nordlige transekter og med forhøjede partikelantal tæt ved lufthavnen i det sydlige transekt. Partikelantal for holdepunktet tæt ved lufthavnen (HS3-lufthavn) er med omkring 24.000 partikler per cm^3 kun omkring en tredjedel af partikelantallene, som måles tæt ved lufthavnen for de vestlige transekter under østlige vindretninger. Dette stemmer også med forventningerne, da afstanden fra det sydlige transekt til de centrale dele af forpladsen er betydeligt længere end afstanden fra de vestlige transekter. Det er formentligt også en del af forklaringen af starterne foretages mod nordøst under nordlige vindforhold, hvilket formentligt også er en del af forklaringen på det høje partikelantal ved holdepunktet øst for lufthavnen (H-lufthavn-øst).

For sydlige vindretninger skal det særligt bemærkes, at holdepunktet tæt ved lufthavnen (HN4-lufthavn) og den indre del af det nordlige transekt vil være påvirket af udledninger fra motorvejen og jernbanen, som ligger omkring 50 m syd for holdepunktet adskilt af en vold og et levende hegn. Jernbanen er elektrificeret, så det vil navnlig være motorvejen, som vil kunne være en kilde til ultrafine partikler og dermed give øgede partikelantal ved holdepunktet og den indre del af det nordlige transekt. Holdepunktet på Lufthavnboulevard (H-lufthavn-nord) ligger umiddelbart syd for motorvejen og vil ikke blive påvirket af udledningerne fra motorvejen ved sydlige vindretninger, og her måles væsentligt højere partikelantal end ved holdepunktet lige nord for motorvejen. Dette peger derfor på, at lufthavnen vil være den primære kilde til de forhøjede partikelantal ved holdepunktet tæt ved lufthavnen (HN4-lufthavn) og den indre del af det nordlige transekt. Selv om lufthavnen forventes at være hovedkilden, så vil der også være et bidrag fra motorvejen, men der skal flere undersøgelser til for at kunne give en mere præcis fordeling af bidraget fra lufthavnen og motorvejen.

For de to vestlige transekter kan det endvidere bemærkes, at der under vestlige vindforhold ses lave partikelantal mellem 6.000 og 10.000 partikler per cm^3 . Da luften ikke har passeret lufthavnen, så er kilderne primært lokal vejtrafik, boligopvarmning og industri langs transekterne samt de fysiske og kemiske processer i atmosfæren, som giver anledning til dannelse af partikler. Partikelantallet er lidt højere ved transektet Vest 1 end ved Vest 2. Dette hænger sammen med, at trafikintensiteten er større på Vest 1 end Vest 2 (Tabel 2.1). Det højeste partikelantal målt ved de to vestlige transekter ses ved holdepunktet væk fra lufthavnen ved transekt Vest 1 (HV1-væk). Dette hænger sammen med, at målebilen er parkeret tæt ved Otto Bachers Vej, som er relativt trafikeret (Figur 2.3).

Endeligt kan det bemærkes, at der for en del tilfælde ses højere partikelantal for dele af transekterne end målt ved de tilhørende holdepunkter. Dette vurderes primært at hænge sammen med, at målingerne langs transekterne er udført, mens målebilen kører i trafikken, og at de lidt højere partikelantal derfor skyldes udledninger fra selve trafikken, som målebilen kører i. Det har ikke været muligt at korrigere data for påvirkningen herfra.

3.1.2 Estimat af årsmiddelværdier for ultrafine partikler

For bedre at kunne sammenligne resultaterne fra målebilen med resultater fra overvågningen af antallet af ultrafine partikler ved målestationerne i København og omegn er det nødvendigt at estimere en årsmiddelværdi på basis af gennemsnittene for de 43 kørsler med målebilen. Som det er beskrevet i Kapitel 2, beregnes de estimerede årsmiddelværdier ved at korrigere for følgende to faktorer, som vurderes at være de vigtigste faktorer at korrigere for:

- Vindretning. Antallet af kørsler med vind fra øst, syd, vest og nord afviger fra den årlige frekvens af vind fra disse vindretninger (Figur 3.2). Da vindretningen er meget afgørende for partikelantallet ved de forskellige målesteder, er det vigtigt at få korrigeret for disse forskelle. I Afsnit 2.4.1 er det beskrevet, hvorledes korrektionen finder sted.
- Variation mellem dag og nat. Målingerne er foretaget i dagtimerne, hvor der er langt den største aktivitet på lufthavnen og i øvrigt også i forbindelse med vejtrafikken. Det er derfor nødvendigt at korrigere for de lavere partikelantal om natten set i forhold til dagen. Korrektionsmetoden er beskrevet i Afsnit 2.4.2.

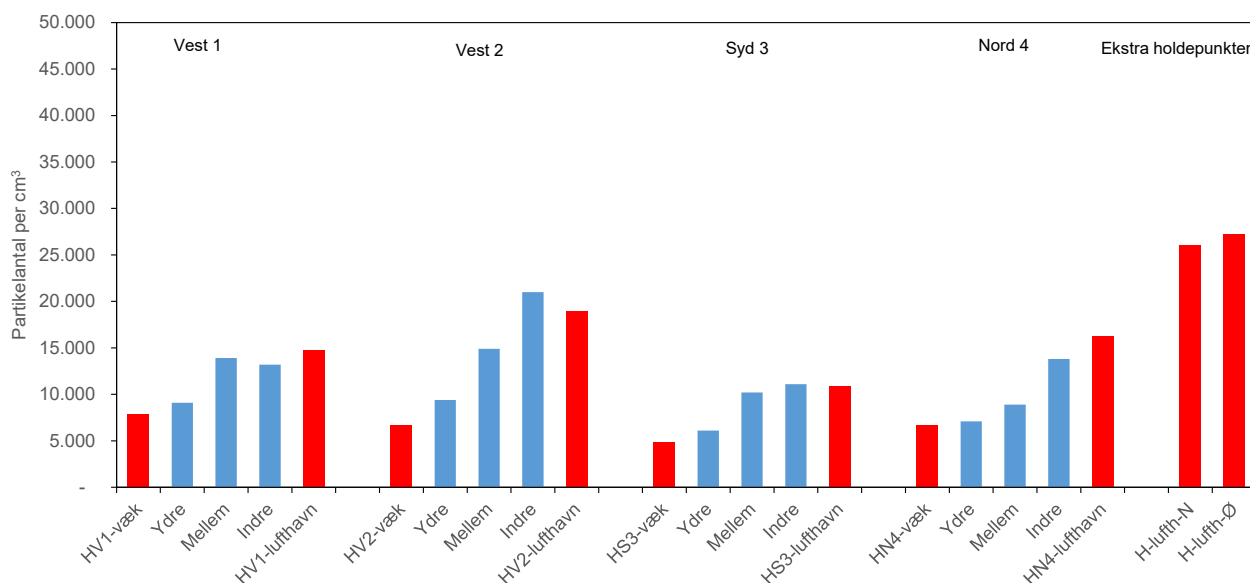
Tabel 3.2 viser de estimerede årsmiddelværdier for antallet af ultrafine partikler sammenholdt med de målte gennemsnit. Tabellen viser også, at de samlede korrektioner ligger mellem -6 og -44%, og at de varierer fra lokalitet til lokalitet. Den generelle tendens er, at de lave partikelantal er korrigeret mindst, hvilket hænger sammen med, at forskellen mellem dag og nat er mindre, hvor der måles lavt partikelantal om dagen, mens korrektionen er større der, hvor man måler højt partikelantal om dagen.

Korrektionerne for vindretning er størst for den inderste del af det sydlige transekt, hvor partikelantallet for holdepunktet ved lufthavnen og den inderste del af transektet er korrigeret med henholdsvis -45 og -35%. At det er her, de største korrektioner finder sted, hænger sammen med, at det navnlig er antallet af kørsler ved vestlige vindretninger, som er overrepræsenteret set i forhold til frekvensen af de årlige vindretninger i 2023 (Figur 3.2) og ved vestlige vindretninger måles relativt høje partikelantal ved disse to lokaliteter.

Tabel 3.2. Estimerede årsmiddelværdier for antallet af partikler sammenholdt med de målte partikelantal og størrelsen af de korrektioner der er foretaget. Enhed er antal partikler per cm³.

	Middel alle kørsler	Målte partikelantal				Korrektioner			Estimat af årsmiddelværdi
		Kørsler opdelt efter vindretning				Vindretning	Dag/nat	Samlet	
		Øst	Syd	Vest	Nord	%	%	%	
Transsekt Vest 1									
HV1-væk	10.000	12.500	5.600	10.200	9.500	-8	-15	-22	7.900
Ydre	11.900	19.300	6.200	10.400	10.000	-7	-17	-24	9.100
Mellem	17.400	34.100	19.500	9.800	11.600	3	-22	-20	13.900
Indre	16.700	42.700	14.900	7.300	7.000	0	-21	-21	13.200
HV1-lufthavn	18.700	59.400	9.800	7.400	7.600	1	-22	-22	14.700
Transsekt Vest 2									
HV2-væk	7.700	17.900	3.900	5.500	5.700	0	-12	-13	6.700
Ydre	11.500	24.900	5.600	9.000	9.900	0	-18	-18	9.400
Mellem	18.500	52.700	16.200	7.100	7.600	4	-22	-20	14.900
Indre	26.500	71.500	27.100	9.700	12.000	5	-24	-21	21.000
HV2-lufthavn	24.100	70.600	23.900	6.700	6.800	3	-24	-22	18.900
Transsekt Syd 3									
HS3-væk	5.600	3.700	3.500	6.400	6.400	-11	-3	-14	4.900
Ydre	7.600	4.900	3.700	9.400	9.100	-11	-10	-20	6.100
Mellem	13.200	15.000	8.100	13.600	15.800	-5	-19	-23	10.200
Indre	16.700	6.000	5.100	21.700	22.500	-17	-20	-33	11.100
HS3-lufthavn	19.400	4.700	3.800	22.400	23.500	-30	-20	-44	10.900
Transsekt Nord 4									
HN4-væk	7.200	5.200	9.800	7.400	7.800	7	-12	-6	6.700
Ydre	7.600	6.900	10.000	7.400	8.100	7	-13	-7	7.100
Mellem	9.700	8.300	18.500	7.300	7.900	11	-17	-8	8.900
Indre	15.100	8.900	37.300	10.000	11.200	17	-22	-9	13.800
HN4-lufthavn	18.000	18.000	44.000	9.200	9.900	17	-23	-10	16.200
Ekstra holdepunkter									
H-lufthavn-N	30.000	19.600	80.700	14.700	17.400	16	-25	-14	26.000
H-lufthavn-øst	36.500	4.000	15.500	60.400	65.200	0	-26	-25	27.200

Figur 3.4 illustrerer de estimerede årsmiddelværdier grafisk. Det er disse estimerede årsmiddelværdier, som vil blive anvendt i Kapitel 4 i forbindelse med sammenligning med de øvrige målestationer i Københavnsområdet og i lufthavnen.



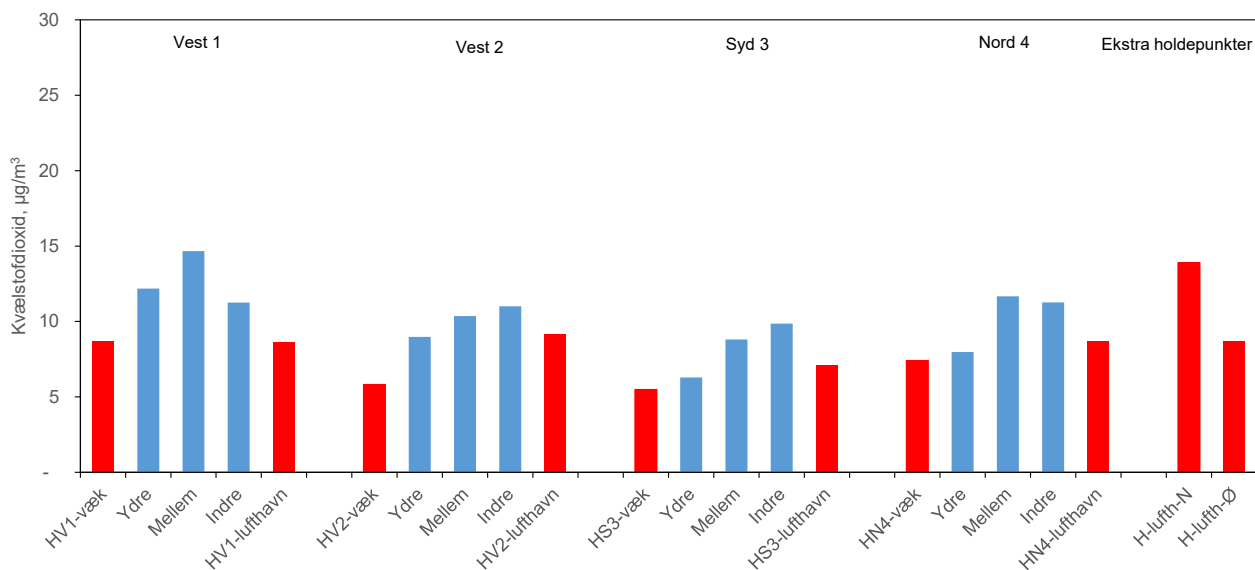
Figur 3.4. Estimerede årsmiddelværdier for antallet af ultrafine partikler i området omkring lufthavnen i 2023. Røde søjler viser gennemsnit ved de 15-minutters holdepunkter og blå søjler gennemsnit for ydre, mellem og indre dele af transekterne. Data vises for de fire transekter fra venstre mod højre i følgende rækkefølge: Vest 1, Vest 2, Syd 3 og Nord 4. Til højre vises data for de to ekstra holdepunkter. "Hxx-væk" angiver holdepunkt længst fra lufthavnen og "Hxx-lufthavn" holdepunkt nærmest ved lufthavnen, hvor de to x-er angiver transektet. Placering af transekter og holdepunkter kan ses i Figur 2.1.

3.2 Resultater for kvælstofdioxid

3.2.1 Måleresultaterne

Figur 3.5 viser de målte koncentrationer af kvælstofdioxid som gennemsnit af de 43 kørsler og Tabel 3.3 viser tallene bag figuren sammen med de målte maksimum- og minimumkoncentrationer. Koncentrationerne ved holdepunkterne er mere ensartet fordelt end for de ultrafine partikler. For kvælstofdioxid er koncentrationerne kun lidt lavere ved holdepunkterne væk fra lufthavnen sammenlignet med tæt ved lufthavnen (15-33%) og for det ene vestlige transekt (Vest 1) ses endda lidt høje koncentrationer. For de ultrafine partikler var der tydelig forskel, hvor partikelantal væk fra lufthavnen var 60-70% lavere end tæt ved lufthavnen. Årsagen til den mere jævne fordeling er, at udledningerne fra lufthavnen ikke er nær så dominerende en kilde, som det er tilfældet med de ultrafine partikler, og at udledningerne fra blandt andet vejtrafik spiller en vigtigere rolle for kvælstofdioxid end for de ultrafine partikler. Selvom det er mere jævnt fordelt, så viser målingerne dog også, at udledningerne fra lufthavnen giver anledning til en forøgelse af koncentrationerne tæt ved lufthavnen.

De gennemsnitlige koncentrationer målt ved transekterne viser også tydeligt relativt højere koncentrationer set i forhold til holdepunkterne for enderne af transekterne. For det vestlige transekt Vest 1 ses endda, at koncentrationerne ligger højere på de tre dele af transektet end ved de to holdepunkter. Dette mønster er i tråd med, at udledningerne fra vejtrafikken spiller en større rolle, og derfor har det større betydning, at målingerne på transekterne foretages på vejbanen i den kørende trafik.



Figur 3.5. Gennemsnitlige koncentrationer for kvælstofdioxid for de 43 kørsler i perioden fra 13. januar 2023 til 25. januar 2024. Røde søjler viser gennemsnit ved de 15-minutters holddepunkter og blå søjler gennemsnit for ydre, mellem og indre dele af transektterne. Data vises for de fire transekter fra venstre mod højre i følgende rækkefølge: Vest 1, Vest 2, Syd 3 og Nord 4. Til højre vises data for de to ekstra holddepunkter. "Hxx-væk" angiver holdepunkt længst fra lufthavnen og "Hxx-lufthavn" holdepunkt nærmest ved lufthavnen, hvor de to x-er angiver transektet. Placering af transekter og holddepunkter kan ses i Figur 2.1

Tabel 3.3. Gennemsnitlige, højeste og laveste koncentrationer for kvælstofdioxid fra 43 kørsler i perioden fra 13. januar 2023 til 25. januar 2024. Enhed i $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

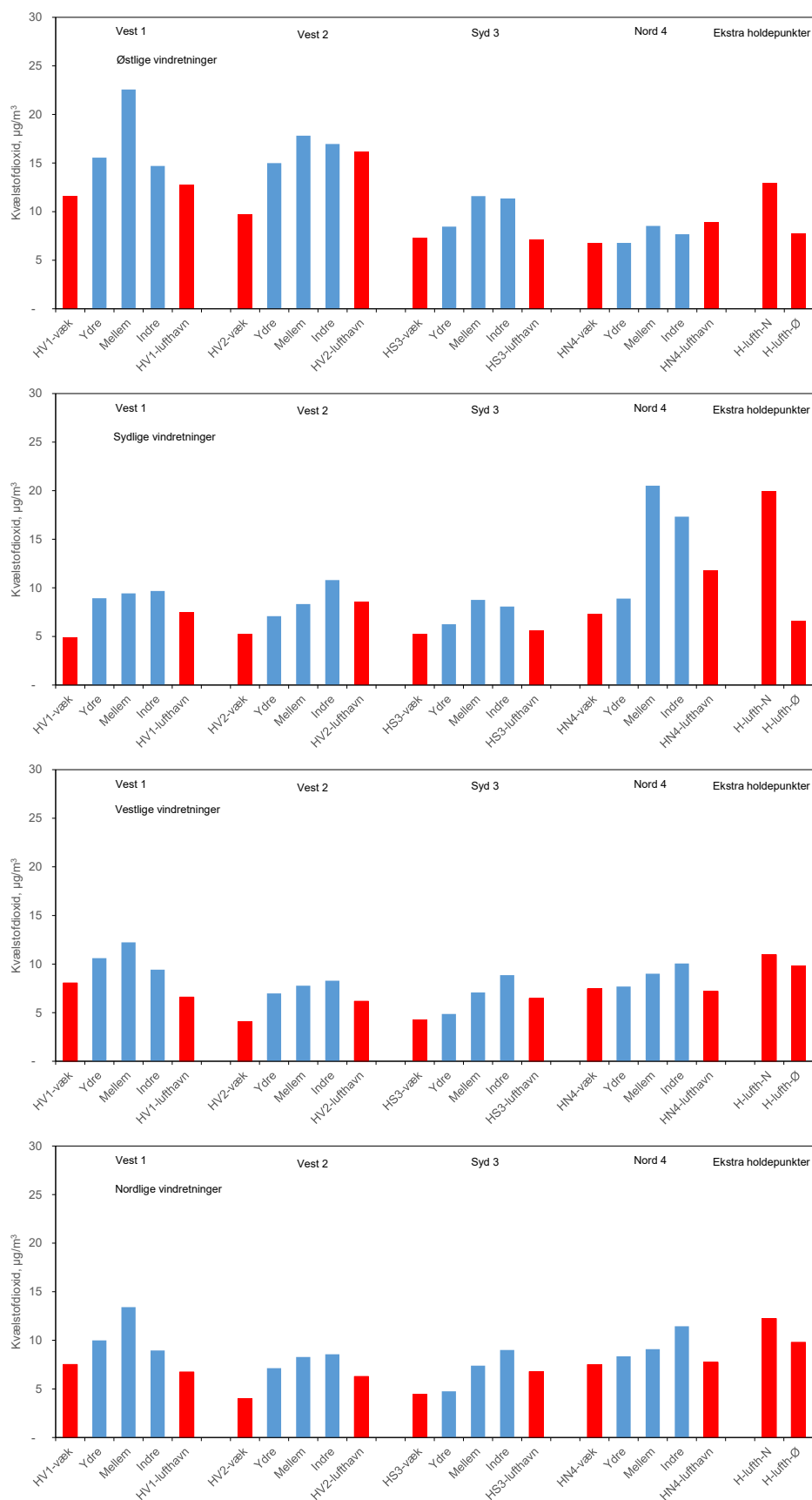
	Holdepunkt Væk	Ydre	Transekt Mellem	Indre	Holdepunkt Lufthavn
Vestlig transekt 1					
Gennemsnit	9	12	15	11	9
Højeste	24	39	77	31	27
Laveste	1	4	4	3	3
Vestlig transekt 2					
Gennemsnit	6	9	10	11	9
Højeste	26	35	31	38	45
Laveste	2	3	3	3	3
Sydlig transekt 3					
Gennemsnit	5	6	9	10	7
Højeste	27	28	41	34	24
Laveste	2	2	2	2	2
Nordlig transekt 4					
Gennemsnit	7	8	12	11	9
Højeste	16	19	97	49	21
Laveste	2	2	3	3	2
Ekstra Holdepunkter		Lufthavn Nord		Lufthavn Øst	
Gennemsnit		14		9	
Højeste		35		22	
Laveste		4		4	

Figur 3.6 viser gennemsnitlige koncentrationer opdelt i forhold til vindretningerne under kørslerne, hvor resultaterne fra kørslerne er opdelt i østlige vindretninger (45-135 grader), sydlige vindretninger (135-225 grader), vestlige vindretninger (225-315 grader) og nordlige vindretninger (315-360 + 0-45 grader).

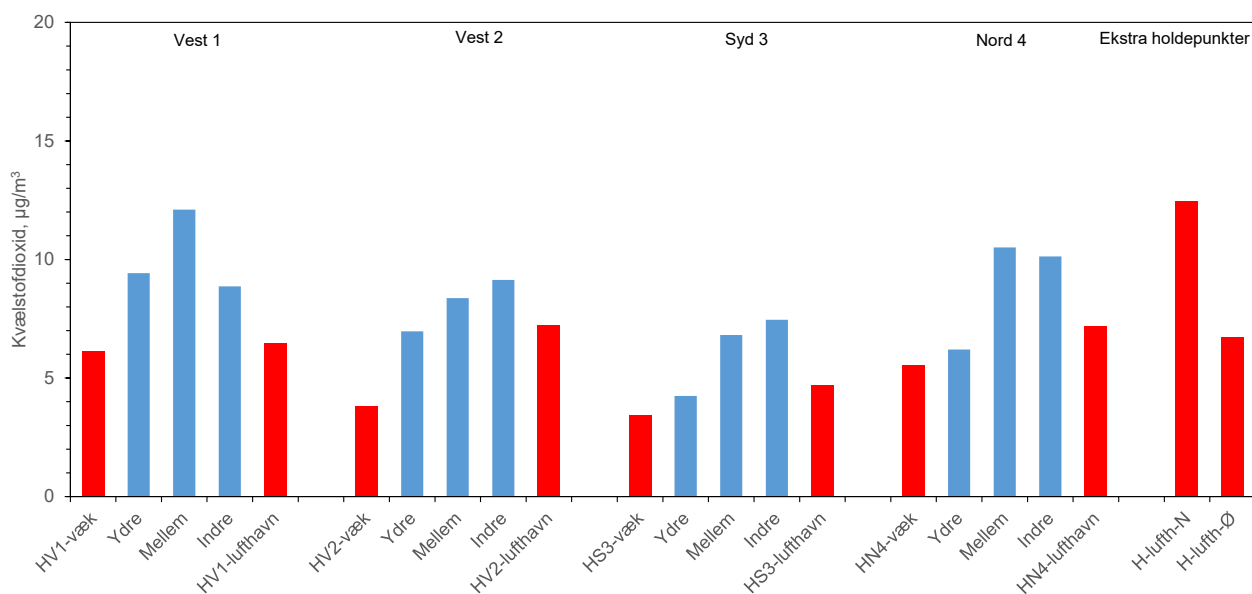
Øverst ses gennemsnitligt partikelantal for de 9 kørsler, hvor vinden kommer fra øst (45 til 135 grader). Ved østlige vindretninger blæser luften fra Øresund ind til lufthavnen, passerer gennem lufthavnsområdet og til området vest for lufthavnen. Ved holdepunkt øst for lufthavnen (H-lufthavn-øst) måles koncentration på omkring $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, og efter passagen af lufthavnen ligger koncentrationerne på $13\text{-}16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (HV1-lufthavn og HV2-lufthavn), hvilket viser, at udledningerne fra lufthavnen spiller en rolle, men ikke nær så stor som for de ultrafine partikler. Ved holdepunktet HV1-lufthavn ses næsten samme niveau, som tæt ved lufthavnen, hvilket igen formentligt skyldes indflydelsen fra vejtrafikken, da holdepunkt HV1-lufthavn er tæt på relativt trafikeret vej. For holdepunktet HV2-lufthavn ses, at koncentration er faldet væsentligt og at den ligger næsten på niveau med luften, der kommer ind fra Øresund (H-lufthavn-øst). De sydlige og nordlige transekter ligger stort set på niveau med koncentrationerne målt i luften opstrøms for lufthavnen (H-lufthavn-øst), hvilket er i god overensstemmelse med, at de to transekter ligger tæt på Øresund, og at luften ikke passerer lufthavnen inden, den når holdepunkterne.

For sydlige, vestlige og nordlige vindretninger (Figur 3.3) ses tilsvarende billede med en mere jævn fordeling af koncentrationerne af kvælstofdioxid. I langt de fleste tilfælde ligger koncentrationerne tæt ved lufthavnen og væk fra lufthavnen på samme niveau, eller koncentrationerne tæt på lufthavnen er kun lidt højere end væk fra lufthavnen. Så derfor er det et meget robust billede, at udledningerne fra lufthavnen kun giver anledning til mindre forhøjelse af koncentrationerne af kvælstofdioxid i området tæt ved lufthavnen.

For alle vindretningssektorer ses tydeligt, at koncentrationerne af kvælstofdioxid ligger relativt højt for de forskellige dele af transekterne sammenlignet med holdepunkterne. Resultaterne peger derfor på en betydelig indflydelse fra de direkte udledninger fra den trafik, som målebilen kører i.



Figur 3.6. Gennemsnitlige koncentrationer for kvælstofdioxid for 43 kørsler i perioden fra 13. januar 2023 til 25. januar 2024 opdelt efter vindretning: Østlig vindretning (9 stk.), sydlig vindretning (9 stk.), vestlig vindretning (23 stk.) og nordlig vindretning (2 stk.). Røde søjler viser gennemsnit ved de 15-minutters holdepunkter og blå søjler gennemsnit for ydre, mellem og indre dele af transekterne. Data vises for de fire transekter fra venstre mod højre i følgende rækkefølge: Vest 1, Vest 2, Syd 3 og Nord 4. Til højre vises data for de to ekstra holdepunkter. "Hxx-væk" angiver holdepunkt længst fra lufthavnen og "Hxx-lufthavn" holdepunkt nærmest ved lufthavnen, hvor de to x-er angiver transektet. Placering af transekter og holdepunkter kan ses i Figur 2.1.



Figur 3.7. Estimerede årsmiddelkoncentrationer af kvælstofdioxid i området omkring lufthavnen i 2023. Røde søjler viser gennemsnit ved de 15-minutters holdepunkter og blå søjler gennemsnit for ydre, mellem og indre dele af transekterne. Data vises for de fire transekter fra venstre mod højre i følgende rækkefølge: Vest 1, Vest 2, Syd 3 og Nord 4. Til højre vises data for de to ekstra holdepunkter. "Hxx-væk" angiver holdepunkt længst fra lufthavnen og "Hxx-lufthavn" holdepunkt nærmest ved lufthavnen, hvor de to x-er angiver transektet. Placering af transekter og holdepunkter kan ses i Figur 2.1.

3.3 Andel af ultrafine partikler og kvælstofdioxid fra lufthavnen

3.3.1 Ultrafine partikler

De målte antal af ultrafine partikler opstrøms og nedstrøms for lufthavnen ved de forskellige vindretninger viser tydeligt, at lufthavnen er den dominerende kilde til ultrafine partikler i området omkring lufthavnen. Ved at sammenligne resultaterne fra holdepunkterne ved de forskellige vindsektorer, kan der laves et estimat af hvor stor en andel, som stammer fra lufthavnen, og hvor stor en andel, som kommer fra øvrige kilder, hvor lokal vejtrafik, boligopvarmning og industri er de vigtigste kilder. De kemiske og fysiske processer i atmosfæren bidrager også til dannelse af ultrafine partikler (Ellermann et al., 2023) og udgør dermed også en vigtig del af de øvrige kilder. Skibstrafikken i Øresund formodes også at kunne bidrage i et vist omfang til de øvrige kilder. Projektets målinger er tilrettelagt med fokus på udledningerne fra lufthavnen, så derfor kan projektet ikke give grundlag for en vurdering af, hvor meget de enkelte øvrige kilder bidrager med, hvilket er baggrunden for, at der ved estimerne af kildefordelingen udelukkende skelnes mellem bidraget fra lufthavnen og øvrige kilder.

Opdelingen i antallet af ultrafine partikler, som kommer fra lufthavnen og øvrige kilder er foretaget ved, at der for hvert enkelt holdepunkt er lavet beregning af det gennemsnitlige antal ultrafine partikler, når vinden ikke kommer fra lufthavnsområdet (Figur 3.8). Antallet af ultrafine partikler målt ved disse vindretninger vil være et godt udtryk for de øvrige kilders andel af antallet af ultrafine partikler om dagen og aftenen. Da der ikke er udført målebilsørsler om natten, er det nødvendigt at korrigere for forskellen mellem antal af partikler om dag og aften og om natten. Korrektionen svarer til den korrektion, som er udført for årsmiddelværdierne (Afsnit 2.4.2).

Antallet af ultrafine partikler, som stammer fra lufthavnens aktiviteter beregnes herefter som forskellen mellem den estimerede årsmiddelværdi for antallet af ultrafine partikler og antallet af ultrafine partikler fra de øvrige kilder efter korrektion for forskel mellem dag/aften og nat.



Figur 3.8. Illustration af opdeling af vindretninger i forbindelse med beregning af koncentrationer som stammer fra øvrige kilder og lufthavnen. Når vindretningerne er mellem 77 og 231 grader, vil lufthavnen ikke kunne bidrage til de koncentrationer, som måles ved holdepunkt HS3-lufthavn, og dermed må koncentrationerne målt ved disse vindretninger stamme fra øvrige kilder. Baggrundskort: Krak.

Tabel 3.5 viser resultaterne fra estimerne for antal ultrafine partikler ved holdepunkterne opdelt i forhold til om partiklerne kommer fra lufthavnen eller øvrige kilder. Estimerne angiver, at lufthavnen er ansvarlig for 55-74% af antallet af ultrafine partikler for holdepunkterne tæt ved lufthavnen syd, vest og nord for lufthavnen og helt op til 89% ved holdepunktet øst for lufthavnen. At den højeste andel måles øst for lufthavnen, stemmer med, at vest er den dominerende vindretning, så luftforureningen for den største del af tiden blæses ud over holdepunktet øst for lufthavnen. Samtidigt hermed er der ikke mange andre lokale kilder øst for lufthavnen.

For holdepunkterne væk fra lufthavnen er andelen fra lufthavnen betydeligt mindre. Her ses en andel på 14-24%. Der er dermed stadigvæk et bidrag til antallet af ultrafine partikler i omkring 3 km's afstand fra lufthavnen om end bidraget er lille. I yderligere afstand vurderes bidraget derfor at være minimalt i forhold til de øvrige kilder.

Faldet i antallet af ultrafine partikler som stammer fra lufthavnen ligger på 83-91% fra området tæt ved lufthavnen til området væk fra lufthavnen for alle fire transekter. Dette fald skyldes hovedsageligt fortynding af forureningen med den øvrige luft.

Da faldet i antallet af partikler fra lufthavnen hovedsageligt skyldes fortynding, vil faldet være størst tæt ved lufthavnen og gradvis aftage langsommere og langsommere. Dette forløb ses for holdepunkterne og de tre dele af transektet for det nordlige transekt (Figur 3.4), mens det ikke ses tydeligt for de tre andre transekter. Når det ikke fremstår tydeligere i målingerne, så er det fordi målingerne langs transekterne er foretaget mens målebilen mens kører i selve trafikken.

Det overordnede billede er derfor, at lufthavnen er den største kilde til luftforureningen med ultrafine partikler i området tæt ved lufthavnen. Tæt ved lufthavnen giver lufthavnen i gennemsnit anledning til en fordobling af forureningen med ultrafine partikler set som gennemsnit for et år. Målingerne viser imidlertid også, at når vinden blæser direkte fra lufthavnen, så vil forøgelsen i luftforureningen være langt højere end når man betragter årsgennemsnit. For østlige vindretninger ses dette markant, idet lufthavnens aktiviteter giver anledning til mere end fire gange højere partikelantal vest for lufthavnen end hvad der kommer fra de øvrige kilder i området.

Tablet 3.5. Estimeret for antal af ultrafine partikler, som kommer fra øvrige kilder og lufthavnen ved holdepunkterne. Enhed er antal per cm³. Endvidere angives den procentvise andel for lufthavnen og det procentvise fald fra holdepunkt tæt ved lufthavnen til holdepunktet omkring 3 km væk fra lufthavnen. Der er foretaget korrektion for forskel mellem dag/aften og nat.

	Estimeret årsmiddelværdi	Øvrige kilder	Fra lufthavn	Andel fra Lufthavn %
Transekt Vest 1				
HV1-lufthavn	14.700	6.500	8.200	56
HV1-væk	7.900	6.500	1.400	18
Ændring %	-46	0	-83	
Transekt Vest 2				
HV2-lufthavn	18.900	4.900	14.000	74
HV2-væk	6.700	5.100	1.600	24
Ændring %	-65	4	-89	
Transekt Syd 3				
HS3-lufthavn	10.900	3.000	7.900	73
HS3-væk	4.900	40	700	14
Ændring %	-55		-91	
Transekt Nord 4				
HV4-lufthavn	16.200	5.400	10.700	66
HV4-væk	6.700	5.600	1.100	17
Ændring %	-59	4	-90	
Ekstra holdepunkter				
H-lufthavn-N	26.000	8.100	17.800	69
H-lufthavn-øst	27.200	3.000	24.200	89

Da der i forbindelse med kørslerne med målebilen er målt meget høje partikelantal (omkring 200.000 partikler per cm³ for 15-minutters middelværdi, Tabel 3.1), vurderes det mest sandsynligt, at lufthavnens bidrag til luftforureningen med ultrafine partikler i området omkring lufthavnen hovedsageligt

skyldes udledninger fra flymotorer, selv om der også kan komme et bidrag fra de mange køretøjer på forpladsen og i forbindelse med trafikken til og fra lufthavnen. Denne vurdering baseres også på, at lufthavnen ikke påvirker luftforureningen med kvælstofdioxid på nær samme måde som for ultrafine partikler (se Afsnit 3.2.2). Hvis der skulle have været et stort bidrag fra køretøjerne på forpladsen, så ville det have været forventet, at lufthavnen også havde en dominerende rolle set i forhold til luftforureningen med kvælstofdioxid.

3.3.2 Kvælstofdioxid

De målte luftkoncentrationer af kvælstofdioxid opstrøms og nedstrøms for lufthavnen for de fire vindretningssektorer viser tydeligt, at lufthavnen bidrager til luftforureningen med kvælstofdioxid i området omkring lufthavnen. Men til forskel fra de ultrafine partikler, er bidraget fra lufthavnen mindre dominerende, og bidraget fra vejtrafik har en større rolle.

Ved at anvende samme metode som for ultrafine partikler (Afsnit 3.3.1), er der lavet et estimat af, hvor stor en andel af kvælstofdioxid, som stammer fra lufthavnen, og hvor stor en andel, som kommer fra øvrige kilder (Tabel 3.6). For kvælstofdioxid er lokal vejtrafik den vigtigste af de øvrige lokale kilder, mens boligopvarmning, skibsfart og industri spiller en mindre rolle.

Estimaterne angiver, at lufthavnen er ansvarlig for 10-38% af luftkoncentrationerne af kvælstofdioxid for holdepunkterne tæt ved lufthavnen, hvilket tydeligt understreger, at kvælstofdioxid fra lufthavnen spiller en relativt set mindre rolle end hvad der gælder for de ultrafine partikler.

For holdepunkterne væk fra lufthavnen er andelen fra lufthavnen betydeligt mindre. Her ses, at der for det nordlige transekt estimeres et bidrag på kun 2% fra lufthavnen, mens der for andre transekter er bidrag på mellem 7 og 21%.

Koncentrationerne af kvælstofdioxid fra lufthavnen falder med 27-94% fra området tæt ved lufthavnen til området væk fra lufthavnen for alle fire transekter. For de ultrafine partikler observeres relativt ens fald i koncentrationerne (83-91%) væk fra lufthavnen for de fire transekter, mens der for kvælstofdioxid ses relativ stor variation mellem transekterne (Tabel 3.6). Når der er stor variation for kvælstofdioxid, så skyldes det formentligt, at der er større usikkerhed på beregning af lufthavnens andel for kvælstofdioxid, da andelen af kvælstofdioxid fra lufthavnen er mindre, og at andelen beregnes ved forskellen mellem koncentrationen fra alle kilder og andelen fra øvrige kilder.

Tabel 3.6. Estimeret for andel af koncentrationen af kvælstofdioxid som kommer fra øvrige kilder og lufthavnen ved holdepunkterne. Enhed er $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Endvidere angives den procentvise andel for lufthavnen og det procentvise fald fra holdepunkt tæt ved lufthavnen til holdepunktet omkring 3 km væk fra lufthavnen. Der er foretaget korrektion for forskel mellem dag/aften og nat.

	Estimeret årsmiddel- værdi	Øvrige kilder	Fra lufthavn	Andel fra Lufthavn %
Transekt Vest 1				
HV1-lufthavn	6,5	5,4	1,1	17
HV1-væk	6,1	5,3	0,8	13
Ændring %	-6	-2	-27	
Transekt Vest 2				
HV2-lufthavn	7,2	4,5	2,7	38
HV2-væk	3,8	3,0	0,8	21
Ændring %	-47	-33	-70	
Transekt Syd 3				
HS3-lufthavn	4,7	4,2	0,5	10
HS3-væk	3,4	3,2	0,2	7
Ændring %	-28	-24	-60	
Transekt Nord 4				
HV4-lufthavn	7,2	5,5	1,7	24
HV4-væk	5,5	5,5	0,1	2
Ændring %	-24	0	-94	
Ekstra holdepunkter				
H-lufthavn-N	13	10	2,7	21
H-lufthavn-øst	6,7	4,6	2,1	31

3.4 Indflydelse af brug af tværbanen

I forbindelse med gennemførelse af projektet har der fra opdragsgiver været interesse for at vide om anvendelsen af tværbanen (Bane 300) har givet anledning til måleresultater, som skiller sig ud fra resultaterne fra de perioder, hvor de øvrige baner er anvendt. Denne interesse hænger sammen med, at anvendelse af tværbanen giver forøgede gener set i forhold til de øvrige baner, hvor det navnlig har været starter fra tværbanen mod nordvest, som giver problemer for beboerne i området nordvest for lufthavnen. Derfor er der fra Københavns Lufthavne A/S (Peter Schøn, 2024) modtaget informationer om anvendelse af tværbanen i de perioder, hvor vi har udført vores målinger med målebilen.

Tværbanen har kun været anvendt i forbindelse med otte af de 43 kørsler og heraf har der for de seks kun været tale om ankomst af et enkelt fly. For de resterende to kørsler har der været henholdsvis 59 og 75 landinger med brug af tværbanen. I alle tilfælde er der tale om landinger fra sydøst, hvor flyene kommer ind fra Øresund.

Samlet set så har anvendelsen af tværbanen udgjort en meget lille del af det samlede antal start og landinger under de 43 kørsler omkring lufthavnen, og

selv for de to dage med flest landinger på tværbanen, har det ikke været muligt at se en effekt af anvendelsen af tværbanen. Konklusionen er derfor, at måleresultaterne fra dette projekt ikke kan anvendes til at vurdere, om tværbanen giver anledning til særskilt store gener for beboerne i området omkring lufthavnen.

4 Sammenligning med andre målinger af partikelantal og målsætningerne for luftkvaliteten

For at sætte resultaterne fra projektets målinger af partikelantal og kvælstofdioxid i perspektiv er der lavet en sammenligning med andre målinger af partikelantal og kvælstofdioxid, som foretages i København og omegn, hvor der har været særlig fokus på målinger foretaget i lufthavnen og området omkring lufthavnen. Dette drejer sig om følgende målinger:

- DCE varetager den nationale overvågning af luftkvalitet og i den sammenhæng måles partikelantal og kvælstofdioxid ved gademålestationerne på H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej (kun kvælstofdioxid), bybaggrunds-målestation på H.C. Ørsted Institutet, forstads-målestation i Hvidovre og landbaggrunds-målestation ved Risø, Roskilde.
- Lufthavnen gennemfører overvågning af partikelantal ved to målestationer (Lufthavn-vest og Lufthavn-B4) og kvælstofdioxid ved tre målestationer (Lufthavn-vest, Lufthavn-B4 og Lufthavn-Øst). Force Technology udfører målingerne.
- Københavns Kommune gennemfører overvågning af partikelantal og kvælstofdioxid ved målestation på Backersvej omkring 2,2 km nord for lufthavnen. Force Technology udfører målingerne.

Ved alle målestationerne foretages også overvågning af en række andre luftforureningskomponenter, hvor målingerne af black carbon vil blive inddraget i forbindelse med vurdering af kilderne til partikelforureningen ved målestationen på Backersvej (Kapitel 5).

Sammenligningen har følgende to formål:

- Vurdering af kvaliteten af målingerne foretaget med DCE's måleprojekt med målebilen ved sammenligning med faste målestationer i måleområdet.
- Vurdering af niveauet af luftforureningen med ultrafine partikler og kvælstofdioxid i området omkring lufthavnen set i forhold til niveauet målt andre steder i Danmark, herunder niveauet målt ved de stærkt trafikerede gadestrækninger i København.

Kapitlet afsluttes med en sammenligning mellem de estimerede årsmiddelværdier og de målsætninger for luftkvaliteten for målinger af ultrafine partikler og kvælstofdioxid, som foreligger fra EU og WHO.

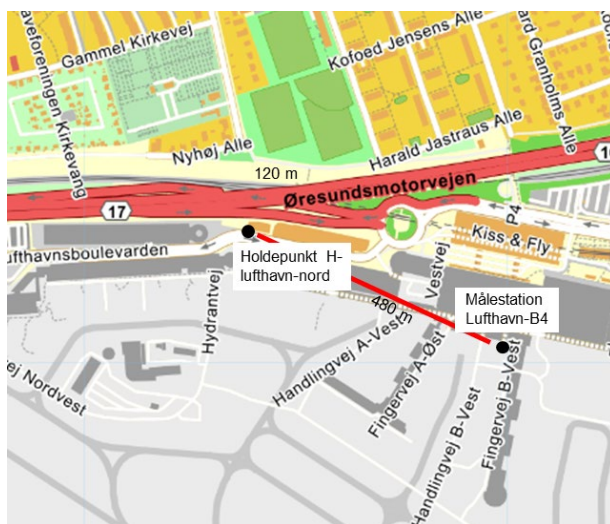
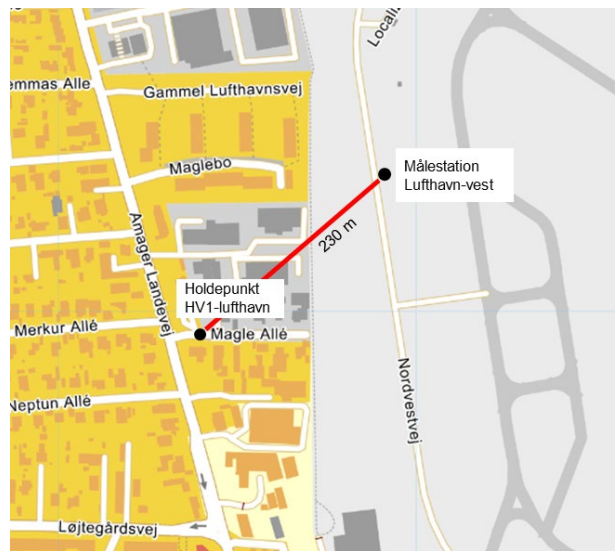
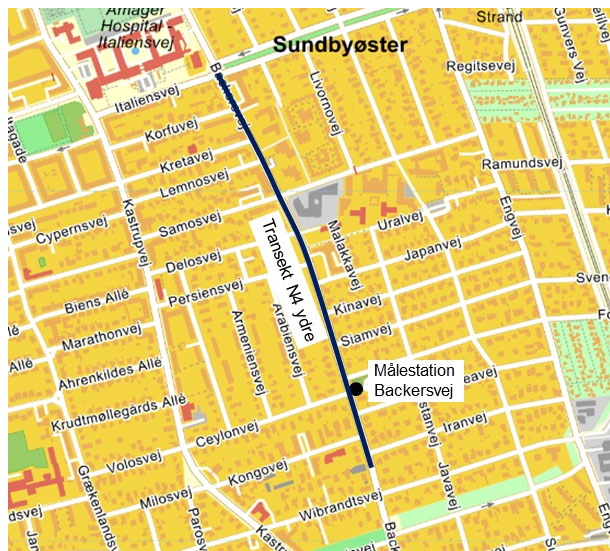
4.1 Vurdering af kvalitet ved sammenligning med resultater fra faste målestationer

Da måleruten blev designet, blev det prioriteret, at der blev foretaget målinger med målebilen så tæt som muligt ved de målinger, som i forvejen foretages i området omkring og i lufthavnen. På den måde ville det blive muligt at kvalitetssikre målingerne med målebilen ved sammenligning med resultaterne fra de faste målestationer. Der er fire steder, hvor målingerne med målebilen foretages tæt på de eksisterende målesteder:

- Den ydre del af det nordlige transekt (TN4-ydre), som passerer direkte forbi Københavns Kommunes målestation på Backersvej (Figur 4.1 øverst venstre). Ved sammenligningen er det vigtigt at tage med i betragtning, at værdien for den ydre del af transekter er gennemsnit for den én km lange del af transektet, mens målestationen er et specifikt målepunkt.
- Holdepunkt HV1-lufthavn, som ligger omkring 200 m sydvest for lufthavnens vestlige målestation (Lufthavn-vest), der er placeret omkring 75 m indenfor hegnet omkring lufthavnen (Figur 4.1 øverst højre).
- Holdepunkt lige nord for lufthavnen (H-lufthavn-nord), som ligger omkring 480 m nordvest for lufthavnens målestation ved Gate B4 (Lufthavn-B4). Afstanden er relativ stor for en direkte sammenligning, men på den anden side ligger holdepunktet kun omkring 70 m fra selve forpladsen adskilt af Lufthavnens 5 etages administrationsbygning (Figur 4.1 nederst venstre).
- Holdepunkt øst for lufthavnen (H-lufthavn-øst), som ligger omkring 200 m østnordøst for lufthavnens østlige målestation (Lufthavn-øst), der er placeret omkring 30 m indenfor hegnet omkring lufthavnen (Figur 4.1 nederst højre). Her måles dog kun kvælstofdioxid, så denne sammenligning kan ikke laves for antallet af ultrafine partikler.

Det vil derudover også være relevant at sammenligne resultaterne fra de to holdepunkter væk fra lufthavnen ved transekt Vest 2 (HV2-væk) og Syd 3 (HS3-væk) med resultaterne fra landbaggrundsmålestationen ved Risø. Dette hænger sammen med, at de to holdepunkter ligger forholdsvis "øde" med få lokale kilder (Figur 2.5 og 2.7), og at de to holdepunkter for en stor del af tiden blive eksponeret for relativt ren luft (Figur 4.2).

Holdepunkt HV2-væk ligger i den vestlige ende af Ugandavej og helt ud til Kalvebod Fælled. For omkring 55% af tiden kommer vinden ind til målestationen fra Kalvebod Fælled. Holdepunkt HS3-væk ligger ved den sydlige ende af Store Magleby Strandvej i strandengsområde omkring 150 m fra Østersøen. For omkring 45% af tiden kommer vinden ind til målestationen fra den sydlige del af Øresund.



Figur 4.1. Placering af holdepunkter, transekter og de faste målestationer som er brugt til sammenligning mellem resultater fra målebil og de faste målestationer. Øverst venstre: Den ydre del af det nordlige transekt (Transekt N4 ydre) og Københavns Kommunes målestation på Backersvej. Øverst højre: Holdepunkt tæt ved lufthavnen på Magle Alle (HV1-lufthavn) og Lufthavnens målestation ved det vestlige hegn (Lufthavn-vest). Nederst venstre: Holdepunkt på Lufthavnsvboulevarden (H-lufthavn-nord) og lufthavnens målestation ved gate B4 (Lufthavn-B4). Nederst højre: Holdepunkt øst for lufthavnen og lufthavnens målestation ved det østlige hegn (Lufthavn-øst). Baggrundskort: Krak.



Figur 4.2. Placering af holdepunkterne væk fra lufthavnen ved enden af Ugandavej (HV2-væk) og den sydlige ende af Store Magleby Strandvej (HS3-væk). De sorte linjer indikerer de vindretninger, hvorimellem vinden kommer fra områder med få lokale kilder.

4.1.1 Ultrafine partikler

Målingerne af antallet af ultrafine partikler med målebilen og ved de faste målestationer foretages med fire forskellige typer instrumenter:

- DCE's målebil: Vandbaseret CPC, Environmental Particle Counter 3783 som måler antallet af partikler med diameter fra 7 nm og opefter. 1 sekunds tidsopløsning.
- DCE's nationale målestationer: SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer) fra TSI, som kan måle størrelsesfordeling og det samlede antal partikler i området fra 11 nm til 478 nm. 3 minutters tidsopløsning.
- Københavns Kommunes målestation på Backersvej: Condensation Particle Counter 5421 fra GRIMM som måler antallet af partikler med diameter fra 7 nm og opefter. I perioden fra 17. februar til 15. marts har der været anvendt en TSI CPC 3776, som måler i området fra 2,5 nm op opefter. 1 sekunds tidsopløsning. (T.B. Kristensen, Force Technology, personlig meddelelse den 13. februar 2024).
- Lufthavnens målestationer inden for lufthavnsområdet: TSI CPC 3775 med $D_{50}=4$ nm Condensation Particle Counter 3775 fra TSI, som måler antallet af partikler med diameter fra 4 nm og opefter. 1 sekunds tidsopløsning (T.B. Kristensen, Force Technology, personlig meddelelse den 13. februar 2024).

For målinger af antallet af ultrafine partikler er det vigtigt, hvilket partikelstørrelsesområde, som bliver målt med instrumenterne. Det er i langt de fleste tilfælde de helt små partikler, der er flest af (Ellermann et al., 2023). Navnlig tæt på kilderne vil det ofte være de helt små partikler under 20 nm, som dominerer partikelantallet. Til gengæld er der relativt set få af de store partikler

over 500 nm. For målinger omkring en lufthavn er det derfor navnlig vigtigt, hvor små partikelstørrelser instrumenterne er i stand til at måle. Der kan også være tab af partikler i selve indsugningssystemet til instrumenterne.

Anvendelsen af de forskellige instrumenttyper og indsugningssystemer giver derfor en usikkerhed i forbindelse med sammenligningen mellem resultaterne for ultrafine partikler. Forskellen mellem målinger af antallet af ultrafine partikler testes normalt ved parallelmålinger med de forskellige typer af instrumenter, hvilket er blevet gennemført for DCE's instrument i målebilen og instrumenterne ved de nationale målestationer (Afsnit 2.3). Disse parallelmålinger viste, at resultaterne fra den vandbaserede CPC fra målebilen i gennemsnit ligger 20 og 40 % over resultaterne fra målingerne med SMPS i henholdsvis DCE's gademålestation på H.C. Andersens Boulevard og landbaggrundsmålestationen ved Risø.

Det har ikke været muligt inden for projektets rammer at gennemføre tilsvarende parallelmålinger mellem målingerne med målebilen og målingerne ved Backersvej og målestationerne i lufthavnen, hvilket der derfor tages forbehold for ved nedenstående sammenligning mellem målebilen, Backersvej og målestationerne i lufthavnen.

Tabel 4.1 viser estimerede årsmiddelværdier for partikelantal fra målebilen og målte årsmiddelværdier fra de faste målestationer (Figur 4.1 og 4.2). Bemærk dog, at der ikke foretages målinger af ultrafine partikler ved lufthavnens østlige målestation, så derfor bortfalder sammenligningen med målingerne ved holdepunkt øst for lufthavnen (H-lufth-øst).

Ved Transekt-N4-ydre og Backersvej ligger den estimerede årsmiddelværdi kun på 13% under den målte årsmiddelværdi, hvilket er en meget fin overensstemmelse, når man tager i betragtning, at der er anvendt forskellige typer måleinstrumenter, og at der ligger to meget forskellige målestrategier bag værdierne. Den gode overensstemmelse viser, at resultaterne fra målebilen og det anvendte målekoncept giver pålidelige resultater for den estimerede årsmiddelværdi for antallet af ultrafine partikler.

Forskellen mellem partikelantal målt ved holdepunktet (HV1-lufthavn) tæt ved lufthavnens målestation Lufthavn-vest er kun på 22%, hvilket umiddelbart kunne se tilfredsstillende ud. Det er dog uventet, at målebilen giver et højere resultat end målt ved Lufthavn-vest. For det første ligger Lufthavn-vest tættere på de centrale dele af forpladsen. For det andet måler måleinstrumentet ved Lufthavn-vest partikler ned til 4 nm, mens måleinstrument i målebil kun måler ned til 7 nm. Derfor burde partikelantallet ved Lufthavn-vest ligge over resultatet målt med målebilen. Det har som nævnt ovenfor ikke været muligt at udføre direkte parallelmålinger mellem de to typer instrumenter. Der findes heller ikke målinger af størrelsesfordeling af partikler i området under 10 nm i nærheden af lufthavnen. Det er derfor ikke muligt at vurdere, hvor stor en betydning forskellene på de to instrumenter har for sammenligneligheden mellem resultaterne fra målebilen ved holdepunktet HV1-lufthavn og målestationen Lufthavn-vest.

Sammenligningen mellem resultaterne fra målebilen ved holdepunktet på Lufthavnsboulevard (H-lufth-nord) og Lufthavnens målestation ved gate B4 (Lufthavn-B4) viser, at antallet af ultrafine partikler ligger 20% højere ved Lufthavn-B4 end ved holdepunktet. Det er forventet, at resultaterne fra Lufthavn-B4 ligger højere end ved holdepunktet, da Lufthavn-B4 ligger centralt

på forpladsen midt mellem gatene, mens holdepunktet ligger omkring 70 m nord for forpladsen og adskilt af en 6 etages bygning. Måleinstrumentet ved Lufthavn-B4 er magen til det, der anvendes ved Lufthavn-vest. Forskellen på de to instrumenter skulle i sig selv betyde, at partikelantallet er højere ved Lufthavn-B4 end ved holdepunktet på Lufthavnsboulevard.

De estimerede årsmiddelværdier fra de to holdepunkter HV2-væk og HS3-væk ligger henholdsvis 42 og 20% højere sammenholdt med resultaterne fra landbaggrundsmålestationen ved Risø (Tabel 4.1), når data fra Risø er justeret for forskellen mellem den vandbaserede CPC i målebilen og SMSP i den faste målestation ved Risø. Resultaterne fra de holdepunkter viser, at målingerne med målebilen giver resultaterne på det niveau, som må forventes ved to lokaliteter relativt langt fra lufthavnen og i områder uden mange lokale kilder.

Det er vigtigt at pointere, at man ikke kan sige, at resultaterne fra den ene type instrument er mere korrekt end resultaterne fra den anden type instrument. Der hænger blandt andet sammen med, at der endnu ikke er fastlagt referencemetode for måling af partikelantallet. Man kan heller ikke sige, at en nedre partikelafskæring på 4 nm er mere korrekt end 11 nm, hvilket også hænger sammen med, at der ikke er fastlagt en standard for størrelsen af ultrafine partikler, der skal inkluderes ved måling af antallet af ultrafine partikler. Meget tyder dog på, at det fremadrettet vil være antallet af ultrafine partikler med en nedre partikelafskæring over 10 nm, som vil blive den fremtidige standard. Dette baseres på, at EU's reviderede luftkvalitetsdirektiv definerer ultrafine partikler, som partikler med diameter over 10 nm (EU, 2023).

Tabel 4.1. Sammenligning mellem estimerede årsmiddelværdier for partikelantal bestemt ud fra resultaterne fra målebilen og målte årsmiddelværdier fra Københavns Kommunes målestation på Backersvej (Kristensen, 2024), Lufthavnens målestationer (Schøn, 2024) og DCE's landbaggrundsmålestation ved Risø (Ellermann et al., 2024a). Resultaterne fra målebilen er fremhævet med fed skrift. Bemærk at målingerne er foretaget med instrumenter, som har forskellig nedre grænse for størrelsen af de ultrafine partikler, som måles. Derfor angives den nedre grænse ud for de enkelte målesteder. Værdien for Risø er korri-geret med faktor 1,4 for at tage hensyn til forskellen mellem den vandbaserede CPC i målebilen og SMPS anvendt på målestationen på Risø.

Målested	Nedre grænse for målin- gerne af ultrafine partikler	Årsmiddelkoncentration
	Diameter, nm	Antal pr cm ³
Transekt N4 ydre	7	7.100
Backersvej	7	6.200
Forskel %		-13
HV1-lufthavn	7	14.700
Lufthavn-vest	4	11.400
Forskel, %		-22
H-lufthavn-nord	7	26.000
Lufthavn-B4	4	30.900
Forskel, %		19
HV2-væk	7	6.700
Risø	11	3.900
Forskel, %		-42
HS3-væk	7	4.900
Risø	11	3.900
Forskel, %		-20

4.1.2 Kvælstofdioxid

Målingerne af kvælstofdioxid med DCE's målebil er foretaget med en monitor, som måler kvælstofdioxid ved måling af lysabsorption fra kvælstofdioxid med en metode, som betegnes CAPS-metoden (Cavity Attenuated Phase Shift). Metoden har den fordel, at den kan måle koncentrationen af kvælstofdioxid uden interferens fra en række andre oxiderede kvælstofoxider, som findes i lave koncentrationer i atmosfæren. Denne type monitor er valgt, fordi den er mere robust end mange andre monitorer til måling af kvælstofdioxid og dermed undgås tekniske problemer som følge af rystelser, når man kører med bilen. Erfaringer med de mere almindelige monitorer er, at spejlsystemerne i detektionscellen i monitoren rystes ud af position ved kørsel med instrumenterne i målebilen, så derfor kan målinger under kørsel ikke foretages med monitorer af denne type.

Ulempen ved NO₂-CAPS-monitoren er, at den ikke følger EU's referencemetode, hvor der anvendes en såkaldt NO_x-monitor, der måler kvælstofdioxid med en indirekte metode baseret på chemiluminisens. Det er denne type monitor, som anvendes i forbindelse med den nationale overvågning af luftkvalitet og i forbindelse med målingerne udført på Backersvej og målestationerne i lufthavnen. Metoden måler lidt for høje koncentrationer af kvælstofdioxid, da metoden ikke er fuldstændig specifik for kvælstofdioxid, men har interferens fra en række andre kvælstofoxider, som kan findes i lave koncentrationer

i atmosfæren. Kvælstofmonooxid er dog ikke en af disse forbindelser. Koncentrationen af disse interfererende kvælstofoxider varierer både tidsmæssigt og geografisk, så det har ikke været muligt at skaffe data til en korrektion af resultaterne fra NO_x-monitorerne. Der er igangsat et projekt med det formål af få kvantificeret forskellen mellem NO₂-CAPS- og NO_x-monitører, men der foreligger ingen resultater endnu. Det skønnes dog, at overestimering kan have betydning ved målinger i baggrundsområder, mens den vil have lille indflydelse ved høje koncentrationer tæt på kilderne.

Tabel 4.2 viser estimerede årsmiddelværdier for kvælstofdioxid fra målebilen og målte årsmiddelværdier fra de ovenfor omtalte faste målestationer. Ved transekt Nord 4 ydre del og Backersvej ligger resultaterne fra den faste målestation 60% over resultatet fra målebilen. De højere værdier fra målestationen kan delvis forklares ud fra forskellen mellem målemetoderne (NO₂-CAPS-Monitor kontra NO_x-monitor), men om det er hele årsagen til forskellen er endnu ikke klarlagt.

Resultaterne fra målebilen ved HV1-lufthavn og H-lufthavn-nord ligger 40 og 27% under årsmiddelværdierne fra henholdsvis målestation Lufthavn-vest og Lufthavn-B4. Dette er forventeligt, da disse faste målestationer ligger tættere på de centrale dele af forpladsen end de to holdepunkter. Til gengæld er det noget uventet, at der ikke er større forskel mellem koncentrationerne af kvælstofdioxid ved holdepunktet H-lufthavn-nord og den faste målestation Lufthavn-B4, som ligger placeret mellem gatene centralt på forpladsen. Årsagen er formentligt at udledningerne af kvælstofilter fra flymotorer ligger mere på niveau med udledningerne fra vejtrafikken, og at der ved H-lufthavn-nord er en del trafik på Lufthavnsboulevard. Ved holdepunktet er der endvidere relativt høje facader på begge sider af vejen, hvilket vil hindre opblanding af udledningerne fra vejtrafikken med den øvrige luft og medfører derfor relativt høje koncentrationer set i forhold til udledningernes størrelse.

Der er betydelig større forskel mellem de estimerede årsmiddelværdier ved Lufthavn-øst og årsmiddelværdierne fra den faste målestation Lufthavn-øst. Årsagen er formentligt, at den faste målestation Lufthavn-øst ligger relativt tæt på de centrale dele af forpladsen og tæt på den østligste landingsbane, hvor størstedelen af flyene lander.

De estimerede årsmiddelværdier fra de to holdepladser HV2-væk og HS3-væk giver ligger lavt (3,8 og 3,4 µg/m³) og henholdsvis omkring 33 og 47% lavere end årsmiddelværdierne målt ved landbaggrundsmålestationen ved Risø. På trods af denne forskel anses der at være god overensstemmelse mellem resultaterne, hvilket dels hænger sammen med, at der forventes forskel som følge af de ovenfor omtalte forskelle på målemetoderne (NO₂-CAPS-Monitor kontra NO_x-monitor) og dels, at de målte koncentrationer er lave set i forhold til detektionsgrænserne for instrumenterne.

Table 4.2. Sammenligning mellem estimerede årsmiddelværdier for kvælstofdioxid bestemt ud fra resultaterne fra målebilen og målte årsmiddelværdier fra Københavns Kommunes målestation på Backersvej (Kristensen, 2024), Lufthavnens målestationer (Schøn, 2024) og DCE's landbaggrundsmålestation ved Risø (Ellermann et al., 2024b). Resultaterne fra målebilen er fremhævet med fed skrift.

Målested	Årsmiddelkoncentration
	µg/m ³
Transekt N4 ydre	6,2
Backersvej	9,9
Forskel %	60
HV1-lufthavn	6,5
Lufthavn-vest	9,0
Forskel, %	40
H-lufthavn-nord	12
Lufthavn-B4	16
Forskel, %	27
H-lufthavn-øst	6,7
Lufthavn--øst	12
Forskel, %	72
HV2-væk	3,8
Risø	5,1
Forskel, %	33
HS3-væk	3,4
Risø	5,1
Forskel, %	47

4.1.3 Samlet vurdering af koncept for målingerne

Samlet set vurderes det, at der er tilfredsstillende overensstemmelse mellem resultaterne fra målebilen og de faste målestationer. For antallet af ultrafine partikler var forskellene generelt set lave, når de forskellige typer af måleinstrumenter tages med i betragtning. Ved en enkel lokalitet var forskellen på 42%, hvilket formentligt skyldes, at der har været forskel mellem de to lokaliteter, der er blevet sammenlignet (Holdepunkt HV2-væk for enden af Ugandavej og landbaggrundsmålestationen ved Risø). For kvælstofdioxid lå de estimerede årsmiddelværdier fra målebilen i snit noget lavere end resultaterne fra de faste målestationer (33 - 72%). En del af forklaringen på dette er, som for de ultrafine partikler, at der er anvendt forskellige måleinstrumenter, og at måleinstrumentet til måling af kvælstofdioxid i målebilen giver lavere resultater end måleinstrumenterne anvendt i de faste målestationer.

Samlet set vurderes det derfor, at den anvendte målestrategi for målingerne med målebilen har givet pålidelige estimater for årsmiddelværdierne for antallet af ultrafine partikler og kvælstofdioxid i området omkring lufthavnen.

Yderligere sammenligninger mellem de forskellige måleinstrumenter kunne formentligt have været med til at afklare nogle af de mere systematiske forskelle mellem resultaterne, men det har der desværre ikke været tid til at gennemføre i dette projekt.

4.2 Sammenligning med niveauer målt andre steder i Danmark

4.2.1 Ultrafine partikler

Figur 4.3 viser resultaterne for de estimerede årsmiddelværdier ved holdepunkter og transekter målt med målebilen sammen med de målte årsmiddelværdier ved målestationen på Backersvej, DCE's nationale målestationer og lufthavnens målestationer i lufthavnen. Der er anvendt forskellige målemetoder ved de forskellige målinger af antallet af ultrafine partikler (Afsnit 4.1.1), hvilket det er nødvendigt at tage med i betragtning ved sammenligning mellem resultaterne.

De estimerede årsmiddelværdier for antallet af ultrafine partikler i området omkring lufthavnen ligger generelt set højt set i forhold til årsmiddelværdier målt ved DCE's målestationer i københavnsområdet. For holdepunkterne tæt ved lufthavnen ved de fire transekter ligger de estimerede årsmiddelværdier højere end det, der måles ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard, som vurderes at være en af de mest belastede gader i København. Ved holdepunktet nord (H-lufthavn-nord) og øst for lufthavnen (H-lufthavn-øst) ligger partikelantallet næsten dobbelt så højt som på H.C. Andersens Boulevard. For holdepunkterne væk fra lufthavnen ligger de estimerede årsmiddelværdier for antallet af ultrafine partikler over årsmiddelværdierne målt i bybaggrund i København og ved forstadsmålestationen i Hvidovre, men dog under gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard. Resultaterne vist i Figur 4.3 er ikke justeret for den forskel, der er målt mellem den vandbaserede CPC og SMPS på målestationerne, hvilket hænger sammen med at man ikke kan sige at den ene type målinger er mere korrekt end den anden (Afsnit 2.3). Ovenstående konklusioner er stadigvæk gældende selv efter, at man tager hensyn til forskellen mellem de typer målinger.

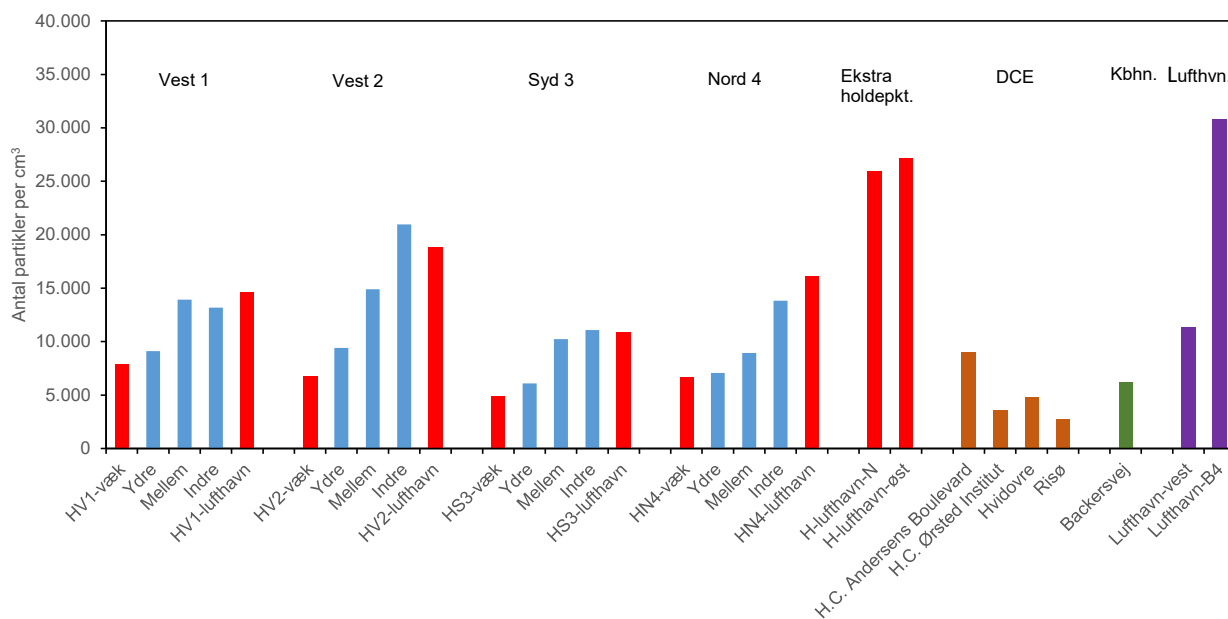
Årsmiddelværdien målt på målestationen på Backersvej ligger på niveau med de estimerede årsmiddelværdier for de ydre dele af de fire transekter. Dog ses der lidt højere værdier på de to vestlige transekter og lidt lavere værdier ved det sydlige transekt. Dette billede stemmer godt overens med, at målestationen på Backersvej ligger 2,2 km nord for lufthavnen, hvilket i afstand fra lufthavnen svarer nogenlunde til de ydre dele af transekterne (gennemsnit for den yderste tredjedel af transektet). Den vandbaserede CPC i målebilen og CPC-instrumentet anvendt på Backersvej minder meget om hinanden, og den direkte sammenligning (Afsnit 4.1.1) viste, at der var god overensstemmelse mellem disse to sæt målinger.

De estimerede årsmiddelværdier fra holdepunkterne ligger overordnet set højt sammenlignet med årsmiddelværdierne fra lufthavnens målestationer inde på lufthavnens område. Det var forventet, at de estimerede årsmiddelværdier for holdepunkterne tæt ved lufthavnen ville ligge på niveau med eller under årsmiddelværdierne målt ved lufthavnens målestation ved den vestlige udkant (Lufthavn-vest). Dette var navnlig forventet for de to holdepunkter tæt ved lufthavnen (HV1-lufthavn og HV2-lufthavn), men her ses tydeligt højere estimerede årsmiddelværdier end ved Lufthavn-vest. For holdepunkt tæt ved lufthavnen ved det nordlige transekt (HN4-lufthavn) måles også tydeligt højere værdier end ved Lufthavn-vest, hvilket dog formentligt kan forklares ved, at holdepunktet er placeret tættere på den centrale del af forpladsen og dermed i højere grad skal sammenlignes med årsmiddelværdien fra målestationen ved Gate B4 (Lufthavn-B4). Den høje værdi ved holdepunkt

HN4-lufthavn skal også ses i lyset af, at der kommer et bidrag fra motorvejen, som ligger i kort afstand syd for holdepunktet.

De estimerede årsmiddelværdier ved de to ekstra holdepunkter nord og øst for lufthavnen (H-lufthavn-nord og H-lufthavn-øst) ligger kun lidt under den målte årsmiddelværdi ved Lufthavn-B4, som ligger centralt på forpladsen mellem gatene. Dette hænger formentlig sammen med, at H-lufthavn-nord er placeret i kort afstand fra den centrale del af forpladsen og H-lufthavn-øst er placeret tæt på den mest anvendte landingsbane. Hertil kommer, at vest og syd er de hyppigste vindretninger, så udledninger fra lufthavnen ofte vil blæse hen mod disse holdepunkter.

Der er betydelige forskelle mellem de instrumenter, som er blevet anvendt i målebilen og ved lufthavnens egne målestationer. Forskellene mellem de to instrumenter indikerer, at lufthavnens måleinstrumenter burde måle højere antal ultrafine partikler end målebilens instrument, idet lufthavnens instrumenter inkluderer partikler ned til 4 nm, mens målebilens instrument kun går ned til 7 nm (Afsnit 4.1.1). Hvor stor betydning dette har, kan kun afklares ved direkte parallelmålinger mellem de to forskellige slags instrumenter, men det har desværre ikke været muligt at gennemføre en sådan parallelmåling indenfor rammerne af dette projekt.



Figur 4.3. Estimerede årsmiddelværdier for antallet af ultrafine partikler for 2023 ved holdepunkter (rød) og transekter (blå) samt målte årsmiddelværdier for 2023 ved DCE's nationale målestationer (brun), København Kommunes målestation på Backersvej for 2023 (grøn) og Lufthavnens målestationer på forpladsen (lilla). Data fra DCE's målestationer er fra Ellermann et al. 2024a, Backersvej er fra Kristensen (2024) og Lufthavnens målestationer er fra Schøn (2024).

4.2.2 Kvælstofdioxid

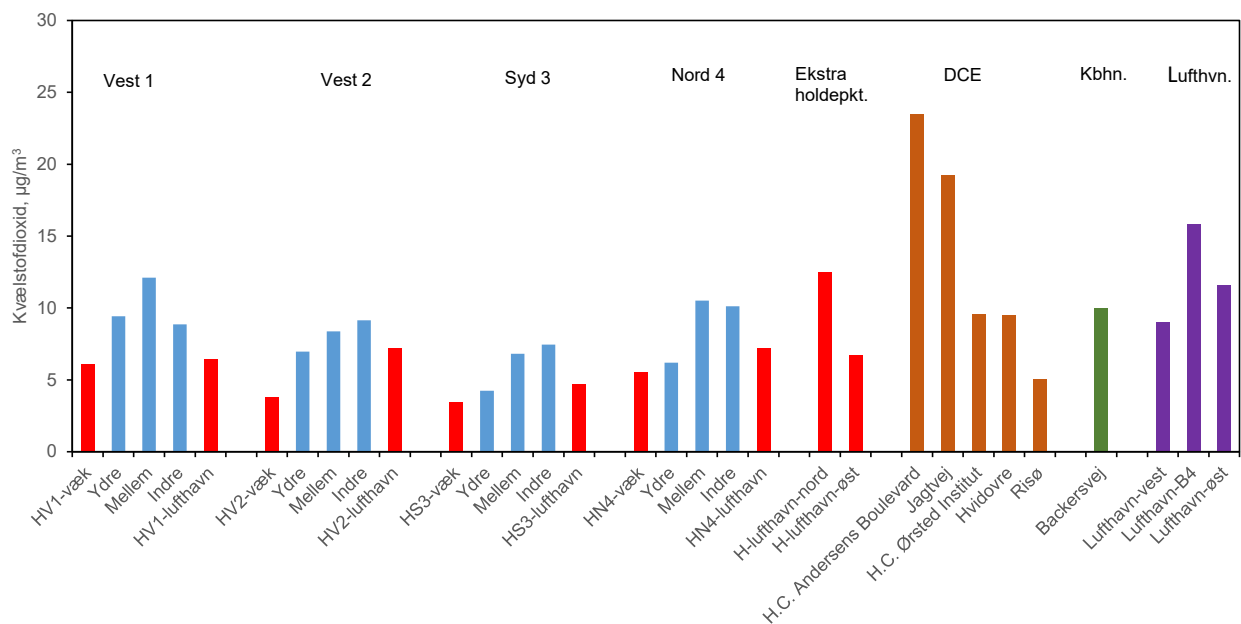
Figur 4.4 viser alle de estimerede årsmiddelværdier for holdepunkter og transekter sammen med målte årsmiddelværdier fra målestationer i Københavnsområdet og landbaggrundsmålestationen ved Risø, Roskilde. Resultaterne fra dette projekt, Backersvej, og lufthavnen er gældende for 2023. Data fra de nationale målestationer er desværre ikke endeligt kvalitetssikrede, så derfor er disse data gældende for 2022 bortset fra Jagtvej, der er fra 2021 grundet midlertidig lukning af målestationen i 2022, som følge af omfattende vejarbejde. Data for 2023 fra de nationale målestationer forventes at være omkring 5-10% lavere end værdierne angivet i Figur 4.4.

For alle holdepunkterne ses estimerede årsmiddelværdier på mellem 3 og 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ med de laveste koncentrationer væk fra lufthavnen og de højeste koncentrationer tæt på lufthavnen. Ved holdepunkterne væk fra lufthavnen ses niveauer, der svarer nogenlunde til det, der måles ved landbaggrundsmålestationen ved Risø, mens der ved holdepunkterne tæt ved lufthavnen ses niveauer, der ligger mellem landbaggrundsmålestationen ved Risø og forstads-målestationen i Hvidovre og bybaggrundsmålestationen på H.C. Ørsted Institut. Kun ved holdepunktet på Lufthavnsboulevard (H-lufthavn-nord) ses en estimeret årsmiddelværdi, der ligger over bybaggrundsmålestationen på H.C. Ørsted Institut, men kun på omkring halvdelen af årsmiddelkoncentrationen målt på gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard og væsentligt under årsmiddelkoncentrationerne ved gademålestationen på Jagtvej. Årsagen til at den højeste estimerede årsmiddelværdi ses ved holdepunktet på Lufthavnsboulevard er formentligt primært, at der er en del trafik på Lufthavnsboulevard (årsdøgntrafik på 7000 køretøjer per døgn), der har relativt høje facader på bygningerne langs vejen ved holdepunktet, som formodentlig medvirker til, at der måles relativt højere koncentrationer af kvælstofdioxid.

De estimerede årsmiddelværdier for holdepunkterne ved lufthavnen ligger alle under årsmiddelværdien målt på målestationen på Backersvej, bortset fra holdepunktet på Lufthavnsboulevard (H-lufthavn-nord). Ved de mest trafikerede transekter (Vest 1, dele af Vest 2 og Nord 4) ligger de estimerede årsmiddelværdier over niveauerne ved holdepunkterne tæt ved lufthavnen og på niveau med Backersvej eller lidt over. Dette mønster for transekterne skyldes formentligt primært, at det ikke helt kan undgås, at målingerne med målebilen påvirkes direkte af udledningerne fra den trafik, som målebilen kører i.

De estimerede årsmiddelværdier fra målebilen ligger for både transekterne og holdepunkterne på niveau med eller under årsmiddelværdier ved målestationerne i udkanten af lufthavnen (Lufthavn-vest og Lufthavn-øst) og noget under målestationen centralt på forpladsen (Lufthavn-B4). Dette mønster passer fint med forventningerne.

Målingerne med målebilen og de øvrige målestationer viser samlet set, at luftforureningen med kvælstofdioxid i området omkring lufthavnen ligger på niveau med luftforureningen i bybaggrunds- og forstadsområder i København og væsentligt under niveauerne ved de stærkt trafikerede gadestrækninger. Endvidere kan det konkluderes, at udledningerne fra lufthavnen ikke giver anledning til væsentligt højere luftkoncentrationer af kvælstofdioxid end det, der ses mere generelt i resten af København. Det er dog også klart, at luftforureningen med kvælstofdioxid i området omkring lufthavnen ville blive lavere, hvis udledningerne fra lufthavnen reduceres.



Figur 4.4. Estimerede årsmiddelværdier for kvælstofdioxid for 2023 ved holdepunkter (rød) og transekter (blå) samt målte årsmiddelværdier for 2022 ved DCE's nationale målestationer (brun), København Kommunes målestation på Backersvej for 2023 (grøn) og Lufthavnens målestationer på forpladsen for 2023 (lilla). Bemærk at årsmiddelværdi for Jagtvej er fra 2021, da målestationen var midlertidigt lukket i store dele af 2022 grundet omfattende vejarbejde. Data fra DCE's målestationer er fra Eller-mann et al. 2024b, Backersvej er fra Kristensen (2024) og Lufthavnens målestationer er fra Schøn (2024).

4.3 Sammenligning med målsætninger for luftkvaliteten for ultrafine partikler og kvælstofdioxid

4.3.1 Ultrafine partikler

Der findes ingen grænseværdier eller lignende målsætninger for antallet af ultrafine partikler i udeluft i forbindelse med EU's nuværende luftkvalitetsdirektiv fra 2008 (EU, 2008), og der bliver heller ikke indført grænseværdier eller lignende målsætninger i forbindelse med det kommende direktiv, som forventes at blive vedtaget i løbet af 2024 (EU, 2023).

Verdenssundhedsorganisationen WHO kom i 2021 med nye og opdaterede retningslinjer for luftkvalitet, men WHO fandt ikke, at det nuværende vidensgrundlag var tilstrækkeligt til, at en retningslinje for antallet af ultrafine partikler i udeluft kunne fastlægges (WHO, 2021). WHO anerkendte, at de ultrafine partikler er helbredeskadelige, så WHO kom i stedet med en række erklæringer betegnet som *Good practice statements*, der indeholder en form for retningslinjer for vurdering af luftkvalitet i relation til antallet af ultrafine partikler. Disse Good practice statements angiver følgende:

- Mindre end 1.000 partikler per cm^3 kan betragtes som lave niveauer for ultrafine partikler.
- Døgnmiddel-partikelantal højere end 10.000 partikler per cm^3 kan betragtes som høje niveauer.
- Timemiddel-partikelantal højere end 20.000 partikler per cm^3 kan betragtes som høje niveauer.

Disse Good practice statements angiver ikke noget om, hvor ofte døgnmiddelværdier eller timemiddelværdier må overskride de angivne værdier før end WHO anser det for et problem. For andre luftforureningskomponenter, hvor WHO har fastlagt en retningslinje for korttidseksponeringen, så angives det, hvor ofte en given døgnmiddel- eller timemiddelværdi må overskrides i løbet af et kalenderår (WHO, 2021). Tilsvarende praksis følger i EU i forbindelse med grænseværdier for korttidseksponering for til eksempel kvælstofdioxid (EU, 2008). Der er derfor en vis uklarhed om, hvordan disse Good practices statements skal fortolkes.

En anden udfordring er, at der på basis af målingerne med målebilen ikke kan bestemmes hverken timemiddel- eller døgnmiddelværdier, og at det derfor ikke kan vurderes, hvor ofte disse overskrives. De estimerede årsmiddelværdier for antallet af ultrafine partikler ligger imidlertid for alle holdepunkterne tæt ved lufthavnen højere end de 10.000 partikler per cm^3 , som WHO sætter som grænse for, hvornår døgnmiddelværdierne kan anses for høje. Ved et enkelt holdepunkt ligger den estimerede middelværdi på 11.000 partikler per cm^3 , mens resten ligger over 15.000 partikler per cm^3 og den højeste ligger på 27.000 partikler per cm^3 . Det er derfor oplagt, at området omkring lufthavnen må betragtes som et område med højt niveau af ultrafine partikler i henhold til WHO.

For holdepunkterne væk fra lufthavnen ligger de estimerede årsmiddelværdier mellem 5.000 og 8.000 partikler per cm^3 . Derfor er det mere vanskeligt at vurdere, om der er døgnmiddelværdier over 10.000 partikler per cm^3 ud fra den estimerede årsmiddelværdi. Hvis man i stedet kigger på resultaterne fra de forskellige vindretningssektorer (Figur 3.3), så ses det for de to vestlige og det nordlige transekt, at når vinden kommer fra lufthavnen og blæser ud til holdepunkterne væk fra lufthavnen, så ligger gennemsnittet på 10.000 partikler per cm^3 eller derover. Ved det sydlige transekt ses et gennemsnit på maksimum 6.000 partikler per cm^3 . Det vurderes derfor, at der selv i omkring 3 kilometers afstand fra lufthavnen vil være episoder med døgnmiddelværdier over 10.000 partikler per cm^3 vest og nord for lufthavnen, mens området syd for lufthavnen vurderes at ligge under dette.

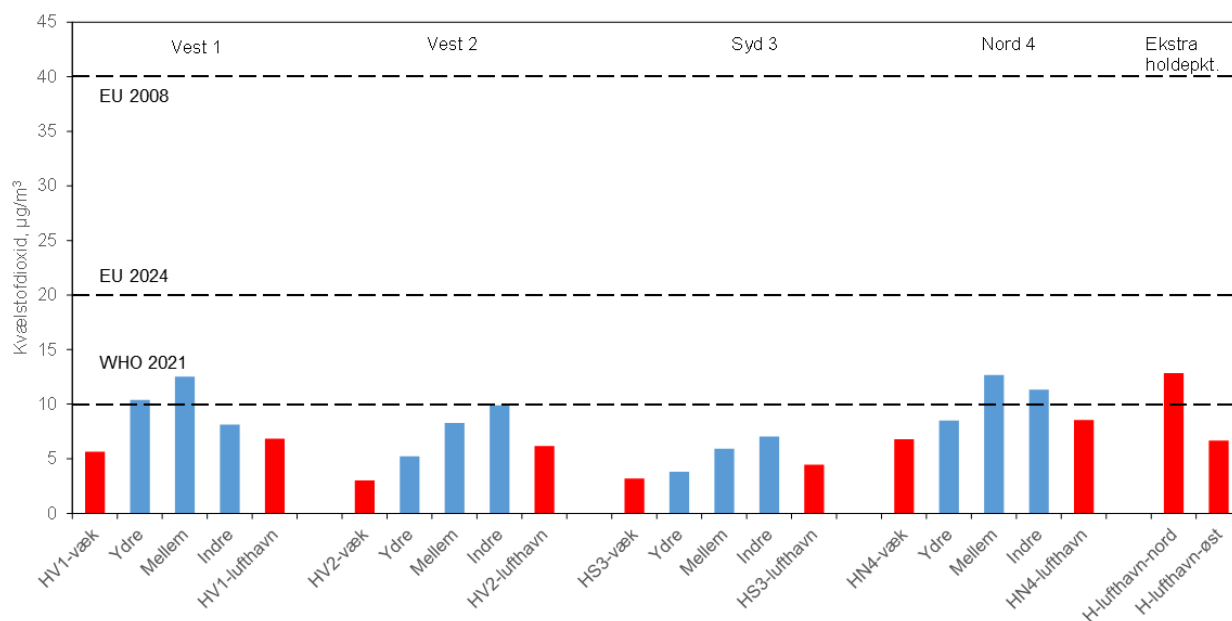
4.3.2 Kvælstofdioxid

Figur 4.5 viser de estimerede årsmiddelværdier fra målingerne med målebilen sammenholdt med de gældende EU-grænseværdier for årsmiddelværdierne af kvælstofdioxid (EU, 2008), EU's nye forslag til grænseværdier gældende fra 2030 (EU, 2023) og WHO's retningslinjer for årsmiddelværdierne af kvælstofdioxid (WHO, 2021).

Niveauerne ligger langt under de gældende grænseværdier. EU's nye forslag til grænseværdi i 2030 overholdes også allerede med god margin. For transekterne med de højeste koncentrationer ses værdier over WHO's retningslinjer for årsmiddelkoncentrationerne af kvælstofdioxid, hvilket dog formentligt skyldes, at målingerne er foretaget med målebilen direkte i trafikken. Ved holdepunktet på Lufthavnsboulevard (H-lufthavn-nord) ses også værdier over WHO's retningslinje (30% over).

Når det drejer sig om kvælstofdioxid, så ligger luftforureningen i området omkring lufthavnen derfor lavt set i forhold til EU's målsætninger. Der er dog enkelte estimerede årsmiddelværdier over WHO's retningslinjer, men der forventes fortsat betydelige reduktioner i udledningerne fra vejtrafik (Nielsen et

al., 2023), hvilket formentligt vil reducere koncentrationerne til under WHO's retningslinjer for hele området omkring lufthavnen, med mindre der sker væsentlig øgning af udledningerne fra lufthavnen.



Figur 4.5. Estimerede årsmiddelværdier for 2023 ved holddepunkter (rød) og transekter (blå) sammenholdt med den gældende grænseværdi (EU, 2008), EU's forslag til ny grænseværdi gældende for 2030 (EU, 2023) og WHO's retningslinje for årsmiddelværdien af kvælstofdioxid (WHO, 2021).

5 Vindretningsanalyse af resultater fra Københavns Kommunes målestation på Backersvej

Københavns Kommune har siden 2020 gennemført overvågning af luftkvalitet på gademålestation på Backersvej omkring 2,2 km nord for lufthavnen, hvor der kontinuerligt er målt ultrafine partikler, kvælstofdioxid og black carbon (mål for uforbrændt kulstof fra forbrændingsprocesser). Måleresultaterne fra denne målestation er allerede blevet anvendt i Kapitel 4, hvor årsmiddelværdierne fra målestation på Backersvej er blevet sammenlignet med de estimerede årsmiddelværdier bestemt ud fra målingerne med målebilen.

I Statusnotatet fra 2023 (Ellermann, 2023) indgik en mere detaljeret analyse af data fra målestationen på Backersvej, hvor sammenhængen mellem luftkoncentrationerne og vindretning blev anvendt til at vurdere, i hvilket omfang resultaterne fra målestationen bliver påvirket af udledningerne fra lufthavnen. Denne analyse blev foretaget på basis af foreløbige resultater, der ikke var kvalitetssikrede. Da der nu foreligger kvalitetssikrede resultater for 2023 (Kristensen, 2024), har vi gentaget denne vindretningsanalyse på basis af de endelige tal. Målet med analysen er at estimere andelen af ultrafine partikler og kvælstofdioxid ved målestationen, som stammer fra udledningerne ved lufthavnen, og at anvende denne information som støtte for de tilsvarende resultater fra målingerne med målebilen. Ud over dette vil vi også sammenligne resultaterne for antallet af ultrafine partikler ved Backersvej med WHO's Good practice statements vedrørende luftkvaliteten for ultrafine partikler (se Afsnit 4.3.1).

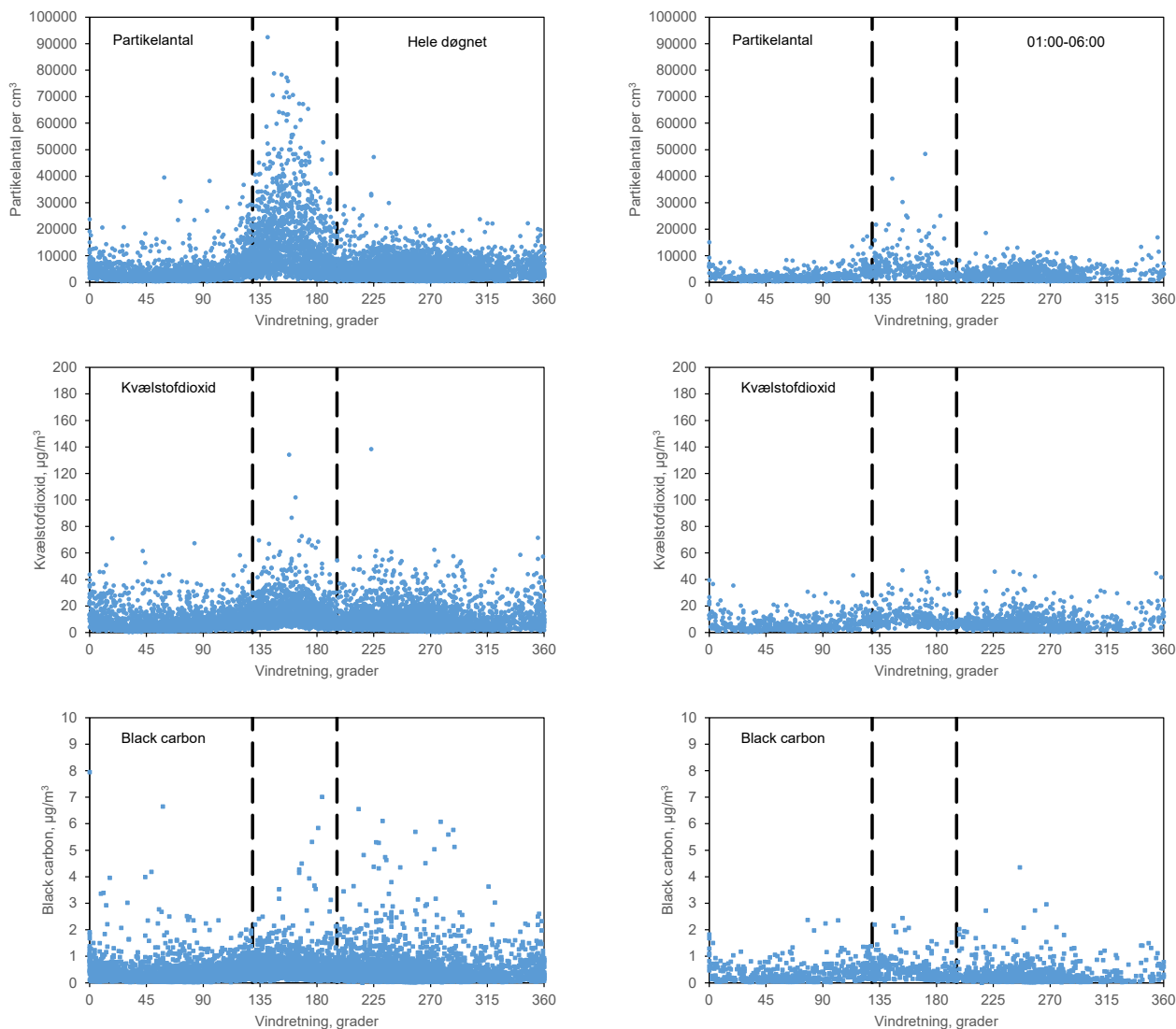
Figur 5.1 viser kvalitetssikrede timemiddelværdier fra målestationen på Backersvej for 2023. Timemiddelværdierne er afbildet som funktion af den gennemsnitlige vindretning ved lufthavnen for den time, hvor målingerne er foretaget. Figurerne til venstre viser samtlige timemiddelværdier, mens figurerne til højre kun viser timerne fra kl. 1:00 til 6:00 for at illustrere forskellen mellem timemiddelværdier for hele døgnet og timemiddelværdier for den periode om natten, hvor der er meget få flystart og -landinger. Figurerne viser to sorte stiplede linjer ved 129 og 196 grader. Vindretninger mellem de to sorte stiplede linjer er de vindretninger, hvor luften har passeret lufthavnsområdet inden luften ankommer til målestationen på Backersvej (Figur 5.2).

Den øverste venstre graf viser timemiddelværdierne for partikelantal. Det ses tydeligt, at timemiddelværdierne er væsentligt højere, når vinden kommer fra lufthavnsområdet sammenlignet med øvrige vindretninger. Det gennemsnitlige partikelantal er omkring 14.000 partikler per cm^3 , når vinden kommer fra lufthavnsområdet og omkring 4.300 partikler per cm^3 , når vinden kommer fra andre vindretninger (Figur 5.1). Når vinden kommer fra lufthavnsområdet måles relativt høje timemiddelværdier med den højeste timemiddelværdi på 92.000 partikler per cm^3 .

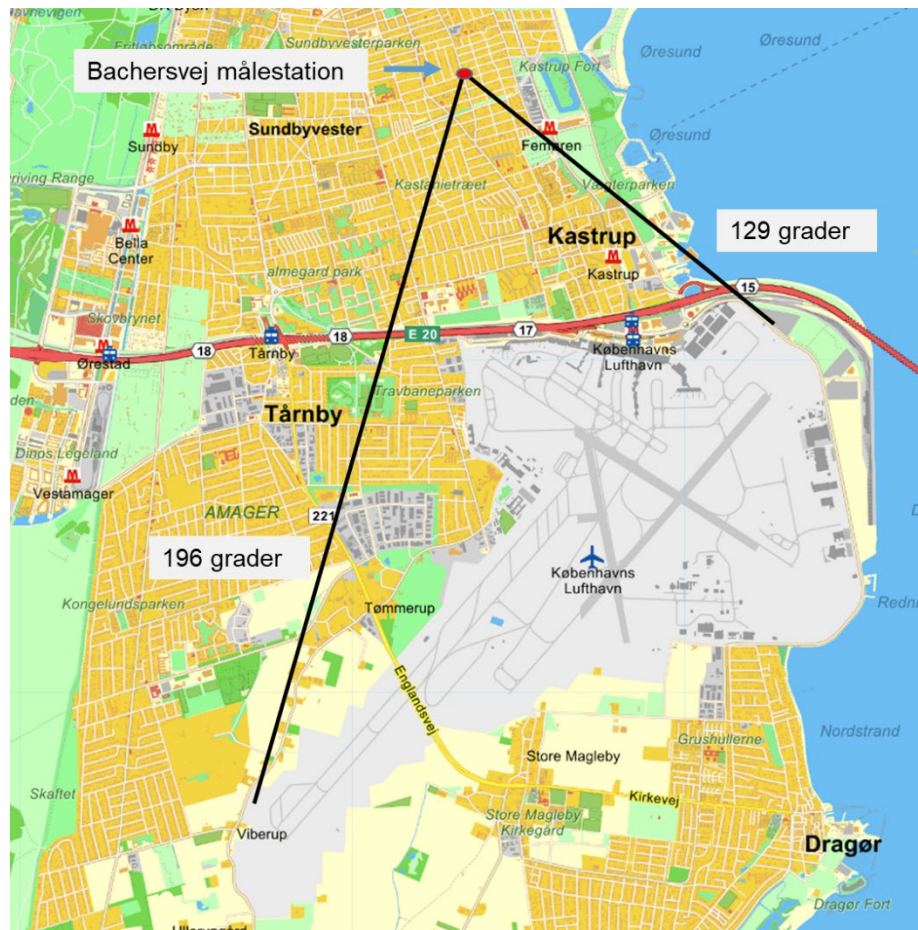
Figur 5.1 viser tilsvarende grafer for de målte timemiddelværdier af kvælstofdioxid og black carbon ved målestationen på Backersvej (miderste og nederste venstre grafer). Begge luftforureningskomponenter udledes i forbindelse med forbrændingsprocesser. Hovedparten af kvælstofdioxid stammer i byerne fra vejtrafik og hovedparten af black carbon stammer fra

vejtrafik og brændefyring. For begge luftforureningskomponenter ses et mere ensartet niveau for timemiddelværdierne ved de forskellige vindretninger, og der ses ingen forhøjede niveauer af timemiddelværdierne, når vindretningerne kommer fra lufthavnsområdet. Forskellene mellem resultaterne for ultrafine partikler, kvælstofdioxid og black carbon underbygger, at de høje niveauer af ultrafine partikler, som måles, når vinden kommer fra lufthavnsområdet, stammer fra udledningerne i lufthavnen og ikke kommer fra nærliggende brændeovne eller vejtrafik.

De tre højre grafer i Figur 5.1 viser timemiddelværdier for ultrafine partikler, kvælstofdioxid og black carbon målt om natten mellem kl 1:00 og 6:00. For dette tidspunkt af døgnet måles der væsentligt lavere partikelantal, og der ses ikke væsentligt forhøjede niveauer i forbindelse med vindretninger fra lufthavnen, dog med en svag tendens til at de højeste værdier i tidsrummet 1:00 – 6:00 ligger i vindretningssektoren fra lufthavnen. Denne observation er i overensstemmelse med, at antallet af flystart og -landinger er meget lavt på dette tidspunkt af natten.



Figur 5.1. Timemiddelværdier for partikelantal (partikler per cm^3) og luftkoncentrationer af kvælstofdioxid ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) og black carbon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) målt ved målestationen på Backersvej i perioden fra 19. september 2022 til 19. september 2023 (Københavns Kommune, 2023). Timemiddelværdierne er vist som funktion af timemiddelværdien for vindretning målt ved lufthavnen af DMI. De tre grafer til venstre viser timemiddelværdier for hele døgnet, mens de tre højre grafer viser timemiddelværdier mellem kl. 1:00 og 6:00, hvor der er meget lidt flytrafik. Graferne viser to sorte stiplede linjer ved 129 og 196 grader. Vindretninger mellem de to sorte stiplede linjer er de vindretninger, hvor luften passerer lufthavnsområdet inden luften ankommer til målestationen på Backersvej.



Figur 5.2. Kort med angivelse af placeringen af Københavns Kommunes målestation på Backersvej samt angivelse af de vindretninger, hvor imellem luften blæser fra lufthavnsområdet op til målestationen. Baggrundskort: Krak

Tabel 5.1 angiver estimat for fordeling mellem andelen af ultrafine partikler og kvælstofdioxid, som stammer fra øvrige kilder og lufthavnen samt andelen som estimeres at stamme fra udledningerne i lufthavnen. Opdelingen i kilder er foretaget på samme måde som tidligere anvendt for resultaterne fra målebilen (se Afsnit 3.3).

For de ultrafine partikler estimeres, at omkring 30% af de ultrafine partikler ved Backersvej stammer fra udledninger i lufthavnen. Dette niveau er i god overensstemmelse med resultaterne fra målebilen, hvor det blev estimeret, at 66% stammede fra lufthavnen ved holdepunktet tæt ved lufthavnen for det nordlige transekt (HN4-lufthavn) og 17% stammede fra lufthavnen ved holdepunktet væk fra lufthavnen (HN4-væk). Målestationen på Backersvej ligger omkring 2,2 km nord for lufthavnen, mens holdepunktet væk fra lufthavn (HN4-væk) ligger omkring 3 km væk fra lufthavnen, så derfor er der god overensstemmelse, når andelen på Backersvej ligger noget over den estimerede andel ved holdepunktet væk fra lufthavnen.

For kvælstofdioxid er det kun 12% af luftforureningen, som estimeres at komme fra lufthavnen ved Backersvej. De tilsvarende andele er 24% for holdepunktet tæt ved lufthavnen og 2% ved fra holdepunktet væk fra lufthavnen. For kvælstofdioxid er der derfor også tilfredsstillende god overensstemmelse mellem resultaterne fra den faste målestation på Backersvej og målebilen.

Table 5.1. Årsmiddelværdi og kildefordeling for antallet af ultrafine partikler og kvælstofdioxid ved gademålestationen på Backersvej i 2023. Endvidere angives den procentvise andel, som estimeres at komme fra udledningerne i lufthavnen. Data for timemiddelværdier for Backersvej er fra Kristensen (2024).

	Årsmiddelværdi	Øvrige kilder	Fra lufthavn	Andel fra lufthavn
Ultrafine partikler, antal per cm ³	6230	4359	1871	30
Kvælstofdioxid, g/μm ³	10,0	8,8	1,2	12

Det er ikke muligt at estimere timemiddelværdier ud fra målingerne fra målebilen, så derfor har det ikke været muligt at sammenholde resultaterne fra målebilen med WHO's Good practice statement for timemiddelværdier af antallet af ultrafine partikler. Dette angiver, at antallet af ultrafine partikler kan anses for højt i de tilfælde, hvor timemiddelværdierne ligger over 20.000 partikler per cm³ (WHO, 2021). Derfor har vi inkluderet en sammenligning mellem timemiddelværdierne fra Backersvej og denne Good practice statement, som viser at 5% af timemiddelværdierne ligger over 20.000 partikler per cm³. Dette er det samme niveau, som måles ved DCE's gademålestation på H.C. Andersens Boulevard (Ellermann et al., 2024a). Den årlige daglige trafikmængde (ÅDT) ved gademålestationen på Backersvej ligger på omkring 7.000 køretøjer per dag, mens den årlige daglige trafikmængde på H.C. Andersens Boulevard er over 50.000 køretøjer dagligt (Jensen et al., 2021). Når andelen af timer med antal partikler over 20.000 partikler per cm³ er på samme niveau, selv om trafikintensiteten er meget forskellig, så peger det på den betydelige effekt, som lufthavnens udledninger har i selv 2,2 km's afstand fra lufthavnen.

Resultaterne for timemiddelværdierne ved målestationen på Backersvej er ikke unikke i den forstand, at tilsvarende forhøjede niveauer af ultrafine partikler er blevet målt ved lufthavnen i Wien i Østrig. Siden 2020 er der gennemført overvågning af luftkvalitet på to målestationer henholdsvis 800 m og 2.5 km fra lufthavnen i Wien (Buxbaum et al., 2023). Ved begge målestationer måles meget høje halvtimemiddelværdier for antallet af ultrafine partikler (op til mere end 100.000 partikler per cm³), når vinden kommer direkte fra lufthavnen. Årsmiddelværdierne på de to målestationer ligger også højere end inde i Wien, hvilket navnlig er tydeligt ved målestationen, som ligger 800 m fra lufthavnen i et landligt område. Her blev den årlige middelværdi målt på 15.000 partikler per cm³. Antallet af ultrafine partikler korrelerer med antallet af fly-start og -landinger. Endvidere observerer Buxbaum et al. (2023) ikke en god korrelation til koncentrationerne af kvælstofoxider, hvilket viser, at de væsentligste kilder til ultrafine partikler og kvælstofoxider er forskellige. Målingerne ved lufthavnen i Wien giver dermed samme billede, som observeres ved lufthavnen i København.

6 Sammenligning med resultater fra CPH Air View

Den geografiske variation i antallet af ultrafine partikler og luftkoncentrationerne af kvælstofdioxid i området omkring lufthavnen er en gang tidligere blevet kortlagt ved hjælp af målebilen som led i en luftforureningskortlægning i hele Københavnsområdet (<https://insights.sustainability.google/labs/airquality>). Denne kortlægning, kaldet CPH Air View, blev foretaget i oktober 2018 til september 2020, dog med undtagelse af perioden med omfattende Covid-19-restriktioner i foråret 2020. Selv om der er gået 3-4 år siden denne kortlægning, er det fortsat relevant at sammenligne resultaterne fra 2018-2020 med resultaterne fra DCE's nye kortlægning foretaget fra 13. februar 2023 til den 25. januar 2024.

CPH Air View blev gennemført i et samarbejde mellem Utrecht Universitet, Københavns Kommune, Google og DCE, hvor DCE deltog i flere aspekter af arbejdet, herunder selve arbejdet med målingerne med servicering af instrumenter og deltagelse i en arbejdsgruppe sammen med Utrecht Universitet, Københavns Kommune og Google (Ellermann et al., 2021). DCE har endvidere medvirket til arbejdet omkring modelberegningerne samt tolkning og formidling af resultaterne. Utrecht Universitet havde hovedansvaret for de omfattende målinger og modelberegninger, ligesom de havde ansvaret for kvalitetssikring af resultaterne.

CPH Air View dækkede hele Københavns Kommune, Frederiksberg Kommune og Tårnby Kommune og resulterede i udarbejdelse og offentliggørelse af kort, der viste den geografiske fordeling af antallet af ultrafine partikler og luftkoncentrationerne af kvælstofdioxid ([Labs - Google Environmental Insights Explorer - Make Informed Decisions \(sustainability.google\)](https://labs.google.com/insights/explorer)). Data bag kortene blev udarbejdet ved hjælp af en kombination af målinger og modelberegninger. Målingerne blev udført med en Google Street View Car udstyret med instrumenter til måling af disse luftforureningskomponenter (Ellermann et al., 2021; Kerckhoffs et al., 2022).

Efter afslutning af CPH Air View overtog DCE målebilen sammen med måleudstyret. I forbindelse med sammenligningen mellem de to datasæt, så har dette den store fordel, at selve målingerne er gennemført med samme bil og måleinstrumenter herunder samme indsugningssystem monteret på taget af bilen.

Målestrategien i CPH Air View var til gengæld meget forskellig fra målestrategien anvendt i forbindelse med DCE's målekampagne i 2022-2024. I CPH Air View gennemkørte målebilen gaderne i de tre kommuner i et fastlagt mønster. Efterfølgende er resultaterne fra målingerne opdelt i 50 meters gadesegmenter, hvor der for hvert gadesegment typisk er foretaget målinger i omkring 30 sekunder til nogle få minutter ad typisk fire til seks omgange fordelt ud over hele måleperiodens varighed på omkring 1½ år. Målingerne giver derfor en form for øjebliksbillede af luftkoncentrationerne for de tre luftforureningskomponenter. Til sammenligning så er der ved DCE's måleprojekt blevet foretaget 43 kørsler for alle lokaliteter, hvoraf der for holdpunkterne er målt i 15 minutter for hver kørsel mens bilen holder stille. For transekterne (indre, mellem og ydre dele) er der beregnet gennemsnit for én kilometers

vejstrækning svarende til gennemsnit af omkring 1,5 minutters måling for hver kørsel og for hver del af transektet.

I CPH Air View er resultaterne fra de mange målinger efterfølgende kombineret med modelberegninger udført med Utrecht Universitets luftkvalitetsmodel (Land-use Regression model, såkaldt LUR model; Ellermann et al., 2021; Kerckhoffs et al., 2022). Data fra modelberegningerne angiver middelværdier for måleperioden, hvilket til en god tilnærmelse kan sammenlignes med middelværdierne for 2019. For de ultrafine partikler angiver middelværdierne et gennemsnit for dagtimerne for hele måleperioden, mens gennemsnit for kvælstofdioxid repræsenterer årsmiddelværdien, hvor forskellen mellem de to luftforureningskomponenter skyldes forskellige muligheder for efterjustering af resultaterne.

I forbindelse med DCE's kortlægning i 2022-2024 er der ikke udført tilsvarende modelberegninger, men gennemsnit for de 43 kørsler er blevet justeret for vindretningernes effekt på spredning af luftforureningskomponenterne og korrigeret for effekten af variationen mellem dag og nat (Afsnit 2.4). Med denne metode har det været muligt at estimere middelværdier for dagtimerne og årsmiddelværdier for 2023.

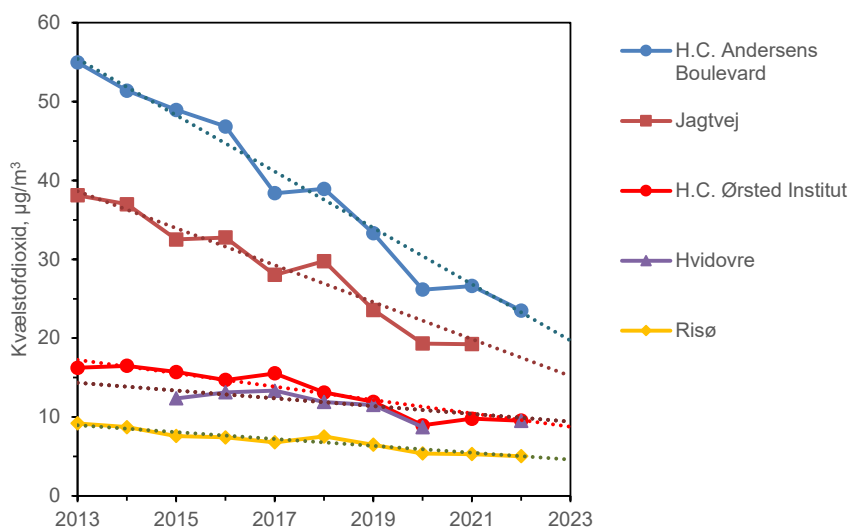
I forbindelse med kortlægning af området omkring lufthavnen, skal det bemærkes, at modelberegningerne for spredning af udledningerne fra lufthavnen blev foretaget med en relativt simplificeret metode baseret på spredning af udledningerne fra lufthavnen i et område op til 5 km fra lufthavnen – en såkaldt bufferzone (Ellermann et al., 2021). Ved denne metode var det ikke muligt at tage højde for vindretningernes betydning for spredningen af udledningerne væk fra lufthavnen.

Datasættet fra CPH Air View dækker perioden fra oktober 2018 til september 2020, dog med undtagelse af perioden med omfattende Covid-19-restriktioner i foråret 2020. Datasættet vil derfor i store træk svare til 2019. DCE's estimerede årsmiddelværdier er gældende for 2023. Der vil derfor være forskel i de målte niveauer som følge af udviklingstendens for antallet af ultrafine partikler og koncentrationerne af kvælstofdioxid. Figur 6.1 viser udviklingstendensen for årsmiddelkoncentrationerne af kvælstofdioxid siden 2013 for DCE's målestationer i Københavnsområdet. Der ses et betydeligt fald gennem de seneste år og mellem 2019 og 2022 er årsmiddelkoncentrationerne faldt i gennemsnit med 22%. Der foreligger endnu ikke årsmiddelkoncentrationer for kvælstofdioxid for 2023, så derfor er der ved hjælp af lineær regression beregnet et estimat for årsmiddelkoncentrationerne i 2023 (Figur 6.1). På basis heraf vurderes det, at årsmiddelkoncentrationerne i gennemsnit er faldet med omkring 30% for perioden fra 2019 til 2023. Årsmiddelkoncentrationerne for 2020 er ikke inkluderet ved beregning af estimerne for 2023, hvilket hænger sammen med, at årsmiddelkoncentrationerne var "kunstigt" lave i 2020 grundet de omfattende Covid-19 restriktioner.

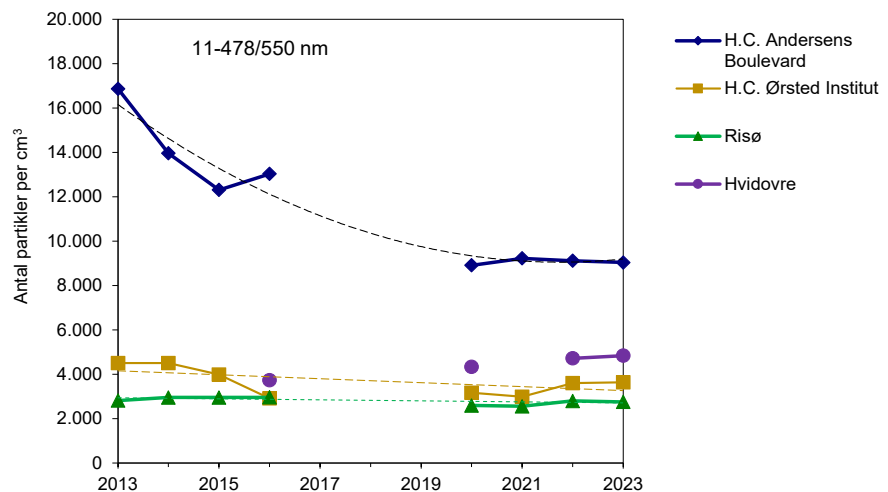
Figur 6.2 viser tilsvarende udviklingstendens for antallet af ultrafine partikler ved de fire DCE-målestationer, hvor denne parameter måles. Grundet tekniske fejl på instrumenterne, så foreligger der ingen årsmiddelværdier for perioden fra 2017 til 2019, men til gengæld foreligger årsmiddelværdierne for 2023. I perioden fra 2020 til 2023 måles ingen væsentlig forskel i årsmiddelværdierne. Ved at interpolere mellem årsmiddelværdierne målt i perioden fra 2013-2016 og 2021-2023 vurderes, at årsmiddelværdierne for 2019 stort set lå på niveau med årsmiddelværdierne for 2023, og at der formentligt højst vil

være tale om et fald på omkring 5% i perioden fra 2019 til 2023. Når 2020 ikke er inkluderet ved interpolationen, så skyldes det igen Covid-19 restriktionerne i dette år. Det er valgt at udelukke 2020 for at gøre det på samme måde for kvælstofdioxid og antallet af ultrafine partikler, selv om der ikke er observeret samme tydelige effekt af Covid-19 restriktionerne på målingerne af antallet af ultrafine partikler som for kvælstofdioxid.

Ved sammenligningen mellem de to datasæt skal det derfor tages med i betragtning, at der er sket et stort fald i koncentrationerne for kvælstofdioxid mellem 2019 og 2023, mens der kun er sket mindre ændringer i antallet af ultrafine partikler. Der skal dog tages forbehold for, at der i området omkring lufthavnen kan være sket ændringer i koncentrationsniveauerne relateret til ændringer i aktiviteterne i lufthavnen. Antallet af flyafgange og ankomster er ifølge lufthavnen faldet med 14% fra 2019 til 2023 (Schøn 2024), hvilket vil påvirke udledningerne fra lufthavnen. Derudover kan de naturlige variationer i de meteorologiske forhold også medvirke til forskelle mellem niveauerne i 2019 og 2023.



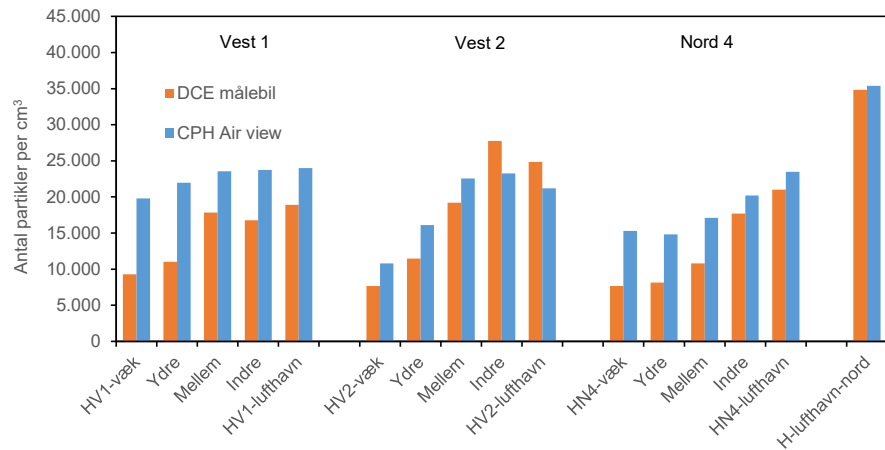
Figur 6.1. Udviklingstendens for årsmiddelkoncentrationerne af kvælstofdioxid siden 2013 ved gademålestationerne på H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej, bybaggrundsmålestation på taget af H.C. Ørsted Institut, forstadsmålestation i Hvidovre og landbaggrundsmålestation ved Risø, Roskilde. De stiplede linjer angiver lineære regressioner beregnet uden at medtage årsmiddelværdien for 2020 grundet de omfattende Covid-19-restriktioner og deres betydning for udledning af luftforurening. Årsmiddelkoncentrationerne er fra Ellermann et al. (2024b).



Figur 6.2. Udviklingstendens for årsmiddelværdierne for antallet af ultrafine partikler siden 2013 ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard, bybaggrundsmålestationen på taget af H.C. Ørsted Institut, forstadsmålestationen i Hvidovre og landbaggrundsmålestationen ved Risø, Roskilde. De stiplede linjer angiver tendenslinjer beregnet uden at medtage årsmiddelværdien for 2020 grundet de omfattende Covid-19-restriktioner og deres betydning for udledning af luftforurening. For gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard er trendlinjen beregnet med andenordenspolynomium, mens der er anvendt lineære regressionslinjer ved H.C. Ørsted Institut og Risø. For Hvidovre er der ikke beregnet tendenslinje grundet den korte tidsserie. Årsmiddelværdierne er fra Ellermann et al. (2024a). De manglende data fra 2017-2019 skyldes tekniske fejl ved instrumenterne. Data fra 2013-2017 inkluderer partikler med diameter fra 11 nm til 550 nm, mens data fra 2020-2023 inkluderer partikler med diameter mellem 11 nm til 478 nm. Denne forskel har dog ingen betydning i denne sammenhæng, da der er meget få partikler i størrelsesområdet fra 478 nm til 550 nm (Ellermann et al., 2024b).

Figur 6.3 viser sammenligning mellem resultaterne fra DCE's målebil og CPH Air View for de to vestlige og det nordlige transekt samt for holdepunktet nord for lufthavnen (H-lufthavn-nord). CPH Air View dækker ikke det sydlige transekt og holdepunktet øst for lufthavnen. For de tre dele af transekterne (omkring 1 km's længde hver) er data fra CPH Air View beregnet som middelværdi af alle 50 m's gadesegmenter langs de tre dele af transektet. Bemærk at både data fra DCE's målebil og CPH Air View repræsenterer niveauerne om dagen, hvilket hænger sammen med at der i forbindelse med CPH Air View ikke blev beregnet årsmiddelværdier.

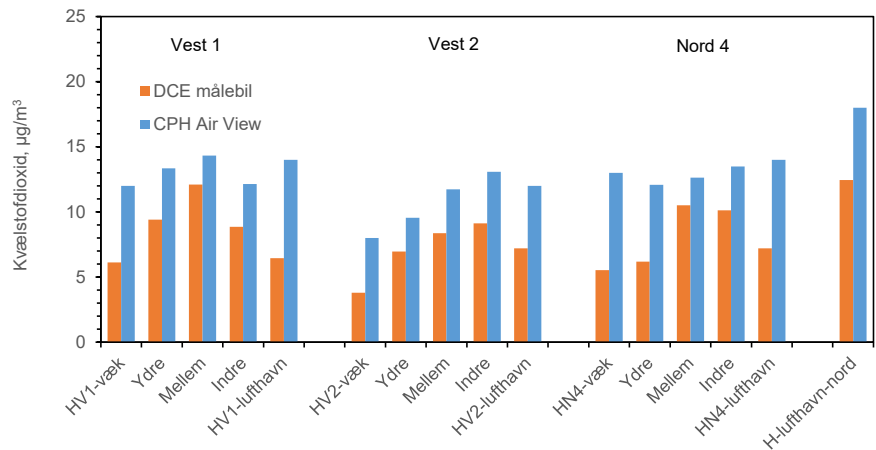
Ved holdepunkterne tæt ved lufthavnen ses rimelig god overensstemmelse mellem de to datasæt med størst forskel ved transektet Vest 1, hvor CPH Air View ligger 21% over data fra DCE's målebil, mens det til gengæld ligger 17% under ved transektet Vest 2. Ved holdepunkterne væk fra lufthavnen ses væsentligt større forskel. Ved transekterne Vest 1 og Nord 4 ses en forskel på lige over 50%, mens der for transektet Vest 2 ses forskel på omkring 30%. Dette peger på, at metoden bag CPH Air View data overvurderer, hvor stor en effekt lufthavnen har på antallet af ultrafine partikler i området fra 3 km og formentligt helt ud til 5 km's afstand fra lufthavnen. Når det vurderes, at denne overvurdering kan gælde ud til 5 km's afstand, så hænger det sammen med, at modelberegningerne anvendt i forbindelse med CPH Air View beregner bidraget fra udledningerne fra lufthavnen ved hjælp af en bufferzone, som dækker ud til 5 km fra lufthavnen.



Figur 6.3. Sammenligning mellem middelværdier for antallet af ultrafine partikler for 2023 fra DCE's målinger med målebilen og resultaterne fra CPH Air View for perioden fra oktober 2018 til september 2020 dog med undtagelse af perioden med omfattende Covid-19-restriktioner i foråret 2020. Alle data angiver middelværdier for dagtimerne for måleperioden.

Figur 6.4 viser sammenligning mellem årsmiddelkoncentrationerne for kvælstofdioxid. Der er større forskel for kvælstofdioxid end for antallet af ultrafine partikler. For alle holdepunkterne ses forskel på mellem 31 og 57%. En anden forskel er, at forskellene i store træk er lige store tæt ved lufthavnen (31-54%) som væk fra lufthavnen (49-57%), hvilket er et andet mønster end for antallet af ultrafine partikler. Denne forskel kan skyldes, at antallet af ultrafine partikler i området omkring lufthavnen for en meget stor del stammer fra udledningerne fra lufthavnen, mens luftkoncentrationerne af kvælstofdioxid i langt mindre grad stamme fra lufthavnen og i langt højere grad stammer fra vejtrafik og de øvrige kilder i området.

Den relativt store forskel mellem de to datasæt for kvælstofdioxid skyldes for en stor del det generelle fald i årsmiddelværdierne fra 2019 til 2023 (omkring 30%), som følge af blandt andet de store reduktioner i udledningerne fra vejtrafik (Ellermann et al., 2024b). Den resterende forskel (omkring 20-30%) skyldes formentligt primært, at CPH Air View er baseret på målinger foretaget, mens målebilen har kørt i trafikken (Ellermann et al., 2021; Kerckhoffs et al., 2022). Det er netop for at undgå denne direkte påvirkning fra vejtrafikken under selve målingerne, at DCE's målestrategi inkluderer målingerne ved udvalgte holdepunkter, hvor målingerne foretages, mens bilen er parkeret i 15 minutter.



Figur 6.4. Sammenligning mellem årsmiddelkoncentrationer for kvælstofdioxid for 2023 fra DCE's målinger med målebilen og resultaterne fra CPH Air View for perioden fra oktober 2018 til september 2020, dog med undtagelse af perioden med omfattende Covid-19-restriktioner i foråret 2020.

Derudover vurderes DCE's datasæt også at være mere robust end datasættet fra CPH Air View, hvilket er fordi, DCE's datasæt er baseret på langt flere målinger (43 kørsler med 15 minutters målinger ved hver målepunkt) end CPH Air View (typisk omkring 30 sekunder til nogle få minutter gentaget typisk fire til seks gange). Vurderingen bygger også på, at der i forbindelse med DCE's datasæt er justeret for vindretningernes indflydelse på spredningen af luftforureningen fra lufthavnen, mens dette ikke er tilfældet ved CPH Air View.

7 Referencer

Buxbaum, I., Nagl, C. & Spangl, W. 2023: UFP-messungen Flughafen Wien, Messergebnisse 2022, Umweltbundesamt, Wien, Österreich, Report Rep-0870.

Ellermann, T., Khan, J., Ketznel, M., Jensen, S.S. & Hertel, O. 2021. Air View Data on the spatial distribution of air pollution in Copenhagen. Aarhus University, DCE - Danish Centre for Environment and Energy, 27s. - Scientific note no. 2021 | 40 https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2021/N2021_40.pdf

Ellermann, T., Massling, A., Poulsen, M.B., & Nordstrøm, C. 2023: The Particle Project 2022. Aarhus University, DCE - Danish Centre for Environment and Energy, 41 pp. Scientific Report from DCE - Danish Centre for Environment and Energy No. 562.

Ellermann, T. 2023: Måling af partikler omkring Københavns Lufthavn i Kastrup - status september 2023. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 26 s. - - Fagligt notat nr. 2023 | 45

Ellermann, T., Nordstrøm, C., Massling, A. & Sørensen, M. B. 2024a: Status for måling af luftkvalitet i 2023. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Teknisk rapport, under udarbejdelse.

Ellermann T., Nordstrøm C., Brandt J., Christensen J., Ketznel M., Massling A., Bossi R., Frohn L. M., Geels C., Jensen S. S., Nielsen O., Winther M., Poulsen M. B., Sørensen M. B., Andersen M. S. & Sigsgaard T. 2024b. Luftkvalitet 2022. Status for den nationale luftkvalitetsovervågning. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 154 s. - Videnskabelig rapport nr. 580.

EU, 2008: Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 on ambient air quality and cleaner air for Europe: Official Journal of the European Union L152/1.

EU, 2023: [Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on ambient air quality and cleaner air for Europe \(recast\) - Mandate for negotiations with the European Parliament - Publications Office of the EU \(europa.eu\)](#)

Jensen, S.S., Ketznel, M., Khan, J., Valencia, V.H., Brandt, J., Christensen, J.H., Frohn, L.M., Nielsen, O.-K. Plejdrup, M.S., Ellermann, T. 2021: Luften på din vej 2.0. DCE-Nationalt Center for Miljø og Energi, 62 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 445, <http://dce2.au.dk/pub/SR445.pdf>

Jensen, S.S., Plejdrup, M.S., Hilling, K. 2019: GIS-based National Road and Traffic Database 1960-2020. Aarhus University, DCE - Danish Centre for Environment and Energy, 25 pp - Technical Report No. 151. November 2019. <http://dce2.au.dk/pub/TR151.pdf>.

Kerckhoffs, J., Khan, J., Hoek, G., Yuan, Z., Ellermann, T., Hertel, O., Ketznel, M., Jensen, S.S., Meliefste, K., & Vermeulen, R. 2022: Mixed-Effects Modeling

Framework for Amsterdam and Copenhagen for Outdoor NO₂ Concentrations Using Measurements Sampled with Google Street View Cars, Environ. Sci. Technol. 2022, 56, 11, 7174–7184.

Kristensen, T. 2024: Personlig kommunikation med Thomas Kristensen, Force Technology, januar 2024, med udlevering af luftkvalitetsdata fra Københavns Kommunes målestation på Backersvej.

Københavns Kommune 2023: [Backersvej/Formosavej målestation | Er luften sund i Københavns Kommune? \(kk.dk\)](#)

Nielsen, O-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Mikkelsen, M.H., Nielsen, M., Gyldenkerne, S., Fauser, P., Albrektsen, R., Hjelgaard, K.H. & Bruun, H.G. 2023. Annual Danish Informative Inventory Report to UNECE. Emission inventories from the base year of the protocols to year 2021. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 603 pp. Scientific Report No. 540. <http://dce2.au.dk/pub/SR540.pdf>

Schøn, P. 2024: Personlig kommunikation med Peter Schøn. Københavns Lufthavn A/S, januar-marts 2024, med udlevering af data for luftkvalitet, meteorologi og flyoperationer.

WHO, 2021: WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization; 2021. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>

MÅLING AF PARTIKELFORURENINGEN OMKRING KØBENHAVNS LUFTHAVN I KASTRUP

DCE har i perioden fra juni 2022 til februar 2024 gennemført et projekt for Miljøministeriet for at kortlægge partikel­forureningen med ultrafine partikler i området omkring Københavns Lufthavn Kastrup (herefter lufthavnen). Kort­lægningen af luftkoncentrationerne af ultrafine partikler og kvælstofdioxid er foretaget ved, at DCE's målebil 51 gange har kørt en fast rute i området fra lufthavnens yderkant og ud til omkring tre kilometer fra lufthavnens yderkant. Kørslerne blev gennemført i perioden fra 13. februar 2023 til den 25. januar 2024. Resultaterne viser, at lufthavnen bidrager betydeligt til luftforureningen med ultrafine partik­ler i området omkring lufthavnen, mens lufthavnen ikke påvirker luftforureningen med kvælstofdioxid i nær samme grad. De estimerede årsmiddelværdier for antallet af ultra­fine partikler ligger højt sammenlignet med målingerne fra DCE's nationale overvågningsprogram, mens årsmiddel­værdierne for kvælstofdioxid ligger relativt lav sammenlig­net med disse målestationer. Andelen af ultrafine partikler fra lufthavnen udgør 50-90% ved målepunkterne tæt ved lufthavnen. For kvælstofdioxid lå andelen på 10-40%.