



Frivillige har målt luftforureningen omkring en af søerne i København

Det er attraktivt at gå eller løbe en tur rundt om søerne i København, da det er et naturskønt område midt i byen. Dog er de populære stier delvist omkranset af trafikerede gader. Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet, har kortlagt luftforureningen omkring søerne ved brug af mobile low-cost luftforureningssensorer og frivillige.

Af Louise Bøge Frederickson^{1,2,3},
Hugo Savill Russell^{1,2,3}
og Ole Hertel⁴

¹ Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet

² AirLabs

³ Danish Big Data Centre for Environment and Health (Bertha), Aarhus Universitet

⁴ Institut for Ecoscience, Aarhus Universitet

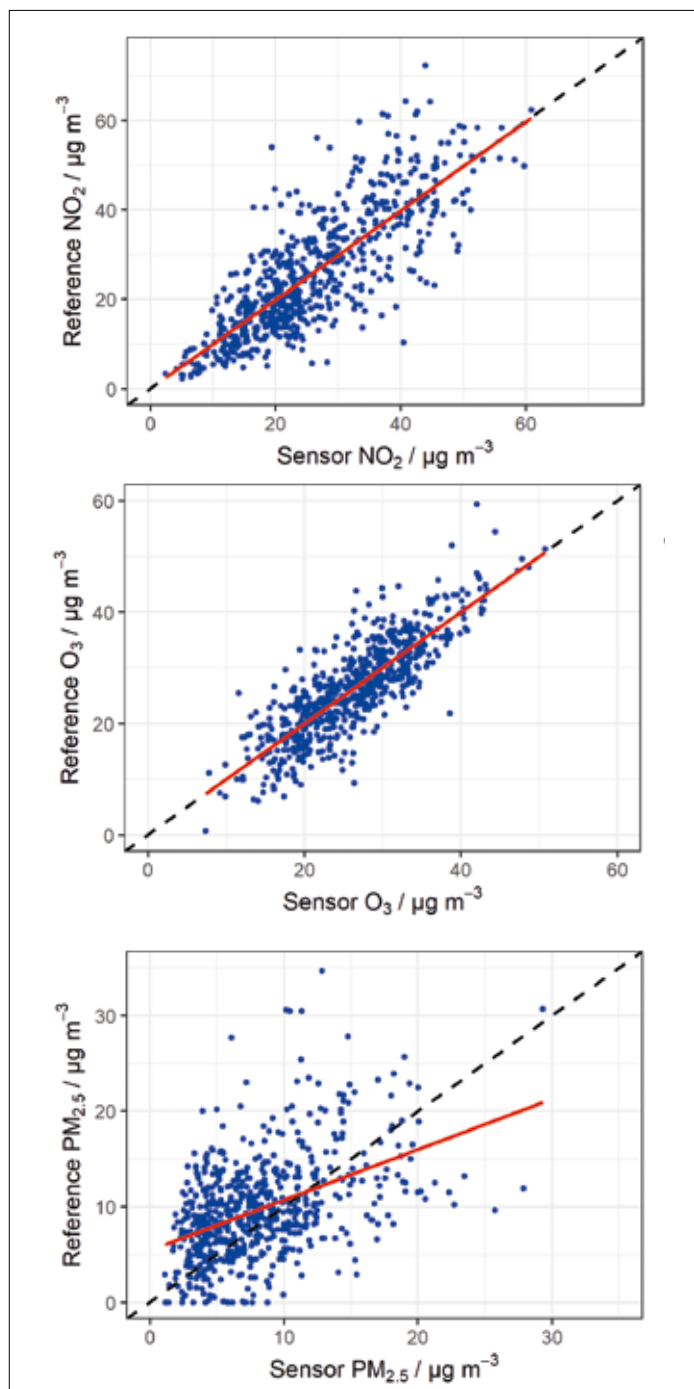
Luftforureningsovervågningen i Danmark er varetaget af Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet, på vegne af Miljøstyrelsen (Overvågningsprogrammet (au.dk)). Der er placeret 18 målestationer rundt om i Danmark, som måler koncentrationer på henholdsvis gadeniveau, bybaggrund og landområder. Målingerne foregår med omkostningsrige og ressourcekrævende instrumenter, hvilket giver data af høj

kvalitet for områderne omkring målestationerne, men den rummelige og tidsmæssige opløsning er forholdsvis lav. Det er utilstrækkeligt at oprette nøjagtige eksponeringsprofiler for borgerne baseret på disse data, da borgernes daglige tidsaktivitetsmønstre fører til de forskellige miljøer og forureningsniveauer - især i byerne, da luftforureningen har vist sig at variere drastisk inden for få meter.

Der er derfor stor interesse i at anvende luftforureningssensorer til relativt lavere omkostninger, almindeligvis omtalt som *low-cost sensorer*. Disse sensorer kan være et værdifuldt supplement til den rutinemæssige overvågning, da de er små og leverer data med høj tidsopløsning, og de lave omkostninger betyder, at de kan opsættes mange steder og dermed bidrage

til en større geografisk dækning. Dette er velegnet og attraktivt til blandt andet personlig eksponeringsvurdering, hvor low-cost sensorer endvidere potentielt kan anvendes til direkte personbårne målinger.

Igennem de seneste år har projekter tilknyttet Institut for Miljøvidenskab anvendt og valideret low-cost sensor noder - dvs. måleenheder baseret på low-cost sensorer. Low-cost sensorerne har vist relativt god overensstemmelse med instrumenterne fra de rutinemæssige målestationer, og derfor er næste step at anvende dem i feltstudier med fokus på personeksponering af luftforurening. I foråret blev low-cost sensor noder anvendt i et kampagnestudie med det formål at kortlægge luftforureningen omkring en af søerne i København.



Figur 1. Korrelationsplot for NO₂ (øverst), O₃ (midten) og PM_{2,5} (nederst) målt af en af low-cost sensor noderne versus det relevante instrument på målestationen. En lineær regressionslinje (solid rød linje) og en 1:1 linje (stiplet sort linje) er vist i alle paneler. Alle viste data er gennemsnitsværdier med en tidsopløsning på 1 time. Bemærk de forskellige aksegrænser.

Beskrivelse af sensorvalidering og målekampagnen

De low-cost sensor noder, som blev anvendt i kampagnen, er produceret af AirLabs i København, og noderne måler gasserne kvælstofdioxid (NO₂) og ozon (O₃) samt partikler opdelt i fine (partikler med en diameter under 2,5 µm, PM_{2,5}) og grove (partikler med en diameter under 10 µm, PM₁₀) (fraktionen af grove i luften defineres som forskellen mellem PM_{2,5} og PM₁₀). Koncentrationen af gasser bestemmes med metaloxidsensorer, hvor der måles på ændringen i strømmen i sensoren, når sensoren bliver eksponeret for målgassen. Derimod bestemmes koncen-

trationen af partikler med optiske sensorer, hvis måleprincip er baseret på lysspredningsegenskaberne for partikler i luften.

Kalibreringen af low-cost sensor noderne blev udført ved at placere noderne ved en af målestationerne i København og sammenligne med de rutinemæssige målinger fra overvågningsprogrammet. Low-cost sensor noderne var placeret ved målestationen på H.C. Andersens Boulevard i seks uger, hvor de første fire uger blev brugt til at træne kalibreringsmodellen for hver enkelt low-cost sensor node, hvorefter de sidste to uger blev brugt til at validere kalibreringsmodellerne. Otte low-cost sensor noder blev brugt til studiet, og de viste en korrelation (R²) med målingerne fra instrumenterne på målestationen på 0,57-0,64 for NO₂, 0,70-0,77 for O₃ og 0,25-0,30 for PM_{2,5}. Figur 1 viser korrelationsplot for NO₂ (venstre), O₃ (midten) og PM_{2,5} (højre) målt af en af low-cost sensor noderne versus det relevante instrument på målestationen. De relativt høje R²-værdier for NO₂ og O₃ indikerer, at low-cost metaloxidsensorerne er i stand til at fange variationen i luftforureningen for disse gasser. R²-værdien for low-cost partikelsensorerne er betydeligt lavere; dermed kan low-cost partikelsensorerne kun forklare en mindre del af variationen i de observerede partikelkoncentrationer.

Målekampagnen foregik omkring den ene del af Sortedams-søen over fem uger. Der blev målt i alle hverdage i myldretiden (7:00-9:00) og om eftermiddagen/aftenen (17:00-19:00). Til hver måling blev to frivillige udstyret med en rygsæk med diverse low-cost sensor noder, samt en smartphone til wi-fi-forbindelse og GPS-sporing. De to frivillige gik derefter på hver sin rute omkring søen - den ene på stien nær søen (Rute 1 på figur 2, side 8), mens den anden gik parallelt på stien nær vejen (Rute 2 på figur 2, side 8).

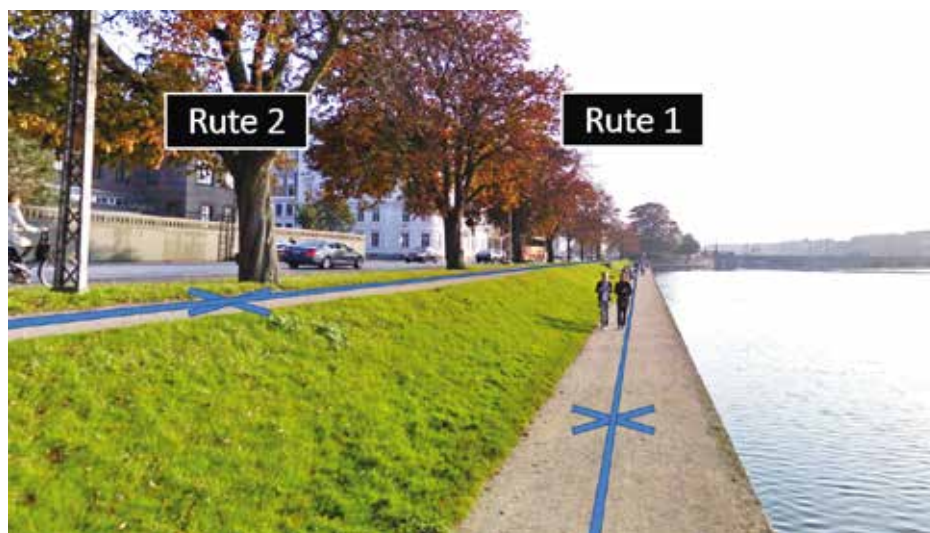
Resultater

Figur 3 på side 8 viser gennemsnitskoncentrationerne for NO₂, O₃ og PM_{2,5} på Rute 1 og Rute 2 samt baggrunden for hele måleperioden. Baggrundskoncentrationerne er målt på taget af H.C. Ørsted Institut (HCØ) i samme periode.

NO₂-koncentrationen på begge ruter er signifikant højere end baggrundskoncentrationen set ved HCØ, hvilket stemmer overens med, at vejtrafikken er den dominerende kilde til NO₂ koncentrationsniveauet på gadeplan. Der ses en højere koncentration af NO₂ på ruten tættere på vejen (Rute 2), hvilket skyldes, at denne rute er tættere på udledningen af NO₂. Koncentrationen af O₃ var betydeligt større i baggrunden, da en del af O₃ stammer fra langtransport. Der ses en anelse højere koncentration på Rute 1 i forhold til Rute 2, da NO-udledninger fra trafikken nedbryder O₃. Koncentrationen af PM_{2,5} var lignende på Rute 1, 2 og i baggrunden. Der er både et bidrag til PM_{2,5} fra langtransport og fra lokale kilder. Især i byerne nær trafikerede veje kan der komme et bidrag til PM_{2,5} fra trafikken, da køretøjerne kan hvirvle partikler fra vejen op i luften, når de forbi passerer. I tillæg har trafikken naturligvis et bidrag fra direkte udledninger. Derudover kan de dannes i de mekaniske processer i bremserne og motoren samt mellem dækkene og vejen. Koncentrationen af PM_{2,5} er en anelse højere i bybaggrunden end ved søerne, hvilket egentlig ikke er særligt sandsynligt, men dette skyldes sandsynligvis partikelsensorernes problemer med at detektere variationen i de observerede partikelkoncentrationer.

Figur 4 på side 8 viser et eksempel på en af gåturene på Rute 2 i kampagnen. Koncentrationen af NO₂ for hvert målepunkt i de to timer er vist på kortet, og det er klart, at der er højere forureningsniveauer på den østlige side af søen i forhold til den vestlige side af søen.

Dette studie har generelt vist den lokale variation i luftforureningen, og dermed hvordan luftforureningen spredes sig fra vejkanterne og ned mod søen. Det er blevet vist, hvor meget

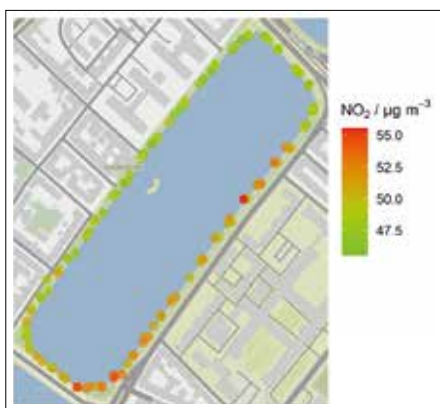


Figur 2. De to forskellige ruter omkring Sortedamssøen (venstre) og en frivillig med en rygsæk med diverse påmonterede low-cost sensor noder (højre).

man kan reducere sin egen personlige eksponering af luftforurening ved kun at benytte den vestlige side af søerne med væsentlig mindre trafik eller færdes ved søerne uden for myldretiden.

Tak

I månederne inden målekampagnen foregik en rekruttering af frivillige, og 24 personer (både studerende og erhvervsaktive) tilmeldte sig. De skal alle have en stor tak for at komme og gå rundt om søen - i alt slags vejr. Uden dem ville studiet ikke kunne lade sig gøre. Derudover skal professor Zorana Jovanovic Andersen og hendes gruppe ved Folkesundhedsvidenskab på Københavns Universitet takkes for at dele deres lokaler og kaffemaskine under målekampagnen. Til kalibrering og sam-



Figur 4. Forureningskort for en af gåturene på Rute 2 i kampagnen.

menligning blev der anvendt måledata fra det danske luftkvalitetsmåleprogram under Novana (Aktuelle målinger (au.



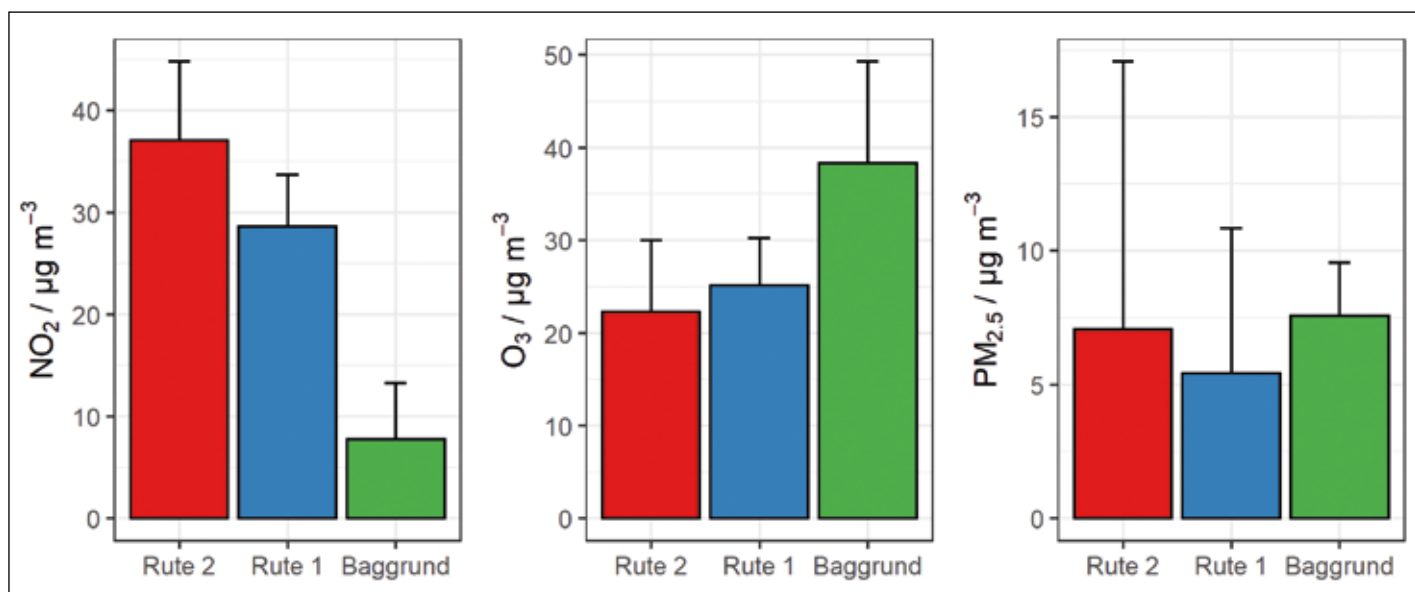
dk), Ellermann et al., 2020). Projektet blev udført som en aktivitet under Big Data Center for Environment and Health (Bertha - <https://projects.au.dk/bertha/>) støttet af Novo Nordisk Fonden.

E-mail:

Louise Bøge Frederickson:
frederickson@envs.au.dk

Referencer

Ellermann, Thomas; Nygaard, Jesper; Nøjgaard, Jacob Klenø; Nordstrøm, Claus; Brandt, Jørgen; Christensen, Jesper Heile; Ketzel, Matthias; Massling, Andreas; Bossi, Rossana; Frohn, Lise Marie; Geels, Camilla; Jensen, Steen Solvang. *The Danish Air Quality Monitoring Programme: Annual Summary for 2018*. Aarhus: Aarhus Universitet, 2020. 83 s. (Scientific Report from DCE - Danish Centre for Environment and Energy; Nr. 360).



Figur 3. Gennemsnitskoncentrationerne af NO₂ (venstre), O₃ (midte) og PM_{2.5} (højre) for Rute 1 (blå), Rute 2 (rød) og baggrund (grøn) over hele måleperioden. Hver søjle er et gennemsnit af de forskellige sensorer på den respektive rygsæk. Bemærk de forskellige aksegrænser.