

# **Ren luft i København med fotokatalytiske belægninger**

## **Kvartalsrapport (4-1)**

**Udarbejdet af  
Photocat A/S**

**Release Date: 11-11-2021**

**Version 01-21**



**PHOTOCAT**

## Forord

Denne rapport beskriver applicering af 3.000 m<sup>2</sup> kombineret asfalt og beton overflader i Københavns Kommune ved Nørrebro Park Skole samt databehandling af de første tre måneders NO<sub>x</sub> data efter den fotokatalytiske belægning er udlagt. Informationen og behandling af data i denne rapport er tiltænkt Københavns Kommune som led i projektet omkring anvendelsen af fotokatalyse til forbedring af luftkvaliteten i byer. Rapporten er en ud af fire kvartalsrapporter til løbende afrapportering af luftkvaliteten i projektet.

## Resume

I denne kvartalsrapport dokumenteres påføringen af den fotokatalytiske NO<sub>x</sub> reducerende belægning NO<sub>x</sub>OFF. Applikationen blev gjort d. 6. juni 2021 på Jagtvej omkring Nørrebro Park Skolen. Rapporten dokumenter, at NO<sub>x</sub>OFF løsningen er en hurtig og let implementerbar løsning til at reducere NO<sub>x</sub> niveauet i byrummet.

Data fra de første 3 måneder af projektet viser et signifikant lavere NO<sub>x</sub> niveau ved Nørrebro Park Skolen med den fotokatalytiske belægning end ved den officielle NO<sub>x</sub> måler 1 km længere ude af Jagtvej.

Sammenlignes måledata fra de første 3 måneder ses en reduktion på 16 % og sammenlignes det med data fra Årsrapport 2019, Ren luft på din vej (2019 målinger) og Googles NO<sub>x</sub> målinger fra 2018-2020, så tyder det på, at dette tal er et underestimat af den effekt den fotokatalytiske belægning har haft på luftkvaliteten ved Nørrebro Park Skolen.

## Indholdsfortegnelse

FORORD.....	2
RESUME.....	2
INDHOLDSFORTEGNELSE.....	3
<b>1 INTRODUKTION .....</b>	<b>4</b>
1.1 FORMÅL.....	4
<b>2 PROJEKT 'NØRREBRO PARK SKOLE'.....</b>	<b>6</b>
2.1 LOKATION.....	6
2.2 MÅLEPROGRAM.....	6
2.2.1 <i>Online data</i> .....	7
2.3 PÅFØRING AF FOTOKATALYTISK BELÆGNING.....	10
2.4 NOx MÅLINGER FØRTE KVARTAL .....	13
2.4.1 <i>Data Cleaning</i> .....	13
2.4.2 <i>Sammenligning med officielle NOx måler på Jagtvej</i> .....	15
2.4.3 <i>Sammenligning med NOx værdier fra andre kilder</i> .....	17
<b>3 KONKLUSION .....</b>	<b>21</b>
<b>4 REFERENCER .....</b>	<b>22</b>

## 1 INTRODUKTION

Fotokatalyse er en katalytisk proces, hvorved der anvendes et katalytisk materiale, som aktiveres ved hjælp af lys. Når katalysatoren aktiveres, er den i stand til at oxidere organisk materiale samt uorganiske stoffer såsom NO<sub>x</sub>. Denne oxidation medfører, at man ved brug af den fotokatalytiske proces kan fjerne giftige luftbårne stoffer som NO<sub>x</sub> og oxidere dem til ufarlige mineralske materialer, hvor det i tilfældet med NO<sub>x</sub> vil blive oxideret til nitrat.

Den fotokatalytiske proces er meget sammenlignelig med processen i en bilkatalysator. I bilkatalysatoren opsamles den NO<sub>x</sub>, der dannes fra bilens forbrændingsmotor. Denne NO<sub>x</sub> reduceres til N<sub>2</sub> vha. en katalysator og anvender varme som energikilde. I den fotokatalytiske proces omdannes NO<sub>x</sub> til nitrat, når NO<sub>x</sub> gassen rammer fotokatalysatoren og hvor der er lys til stede som energikilde. Begge processer er katalytiske processer til fjernelse af NO<sub>x</sub>, hvor den store forskel ligger i energikilden, som anvendes; varme til bilkatalysatoren og dagslys til fotokatalysatoren. Den fotokatalytiske proces forløber derfor udelukkende med naturens egen ressourcer i form af solen som energikilde, hvilket også giver udslag i den miljømæssige profil. En LCA udarbejdet for den fotokatalytiske teknologi, som anvendes i dette projekt, viser en 100 gange miljømæssig gevinst ved at fjerne NO<sub>x</sub> fotokatalytisk sammenlignet med den miljømæssige belastning ved at producere materialet og bortskaffe det [Bisinella et al., 2021]. Samme studie viser en besparelse på 10 kg CO<sub>2</sub> for hvert kg NO<sub>x</sub> fjernet sammenlignet med en bil katalysator.

Luftrensningsteknologier er nødvendige værktøjer for at mindske de økonomiske og sundhedsmæssige konsekvenser af dårlig luftkvalitet [Hoek et al., 2002] [Environmental Audit, 2009], hvilket er blevet endnu mere tydeligt efter WHO's nye anbefalinger fra september 2021, hvor grænseværdien for NO<sub>2</sub> er nedsat til 10 µg/m<sup>3</sup> [World Health Organization, 2021]. I det lys har udviklingen af NO<sub>x</sub> fjernelsesstrategier været et centralpunkt [Skalska et al., 2010]. Fotokatalyse med katalysatoren titanium dioxid, TiO<sub>2</sub>, som blev opdaget af Fujishima og Honda [Fujishima and Honda, 1972], [Fujishima et al., 2000], [Fujishima and Zang, 2006], er en billig og hurtig implementerbar metode til fjernelse af NO<sub>x</sub> og andre forureningsstoffer såsom SO<sub>x</sub> og VOC'er [Frank et al., 1972], [Wang and You, 2016], [Liu et al., 2005], [Hao et al., 2016], [Besov and Vorontsov, 2008]. Et nyligt publiceret review studie viser også fotokatalyse som en lovende teknologi til NO<sub>x</sub> reduktion i byer, hvor studiet gennemgår de seneste 15 års forsøg med større dokumenterede test i verdens storbyer [Pedersen et al., 2021].

### 1.1 Formål

I dette projekt udbudt af Københavns Kommune anvendes fotokatalytiske belægninger på et område omkring Nørrebro Park Skolen i København. Formålet med projektet er at teste anvendelse af fotokatalytisk belægning på et større areal og se på luftkvaliteten løbende over 12 måneder.

Photocat A/S står for rengøring af de udvalgte overflader, samt påføring af den fotokatalytiske belægning. CK Environment står for løbende NO<sub>x</sub> målinger i projektet inklusiv opsætning af måleudstyr, kalibrering og validering af NO<sub>x</sub> data.

Hovedformålene i projektet er:

- Implementer den fotokatalytiske NO<sub>x</sub>OFF teknologi på befærdet areal i København.
- Monitorere luftkvaliteten omkring Nørrebro Park Skolen.

- 
- Dokumenter og rapporter luftkvaliteten omkring Nørrebro Park Skolen i 12 måneder delt op i 4 kvartalsrapporter.

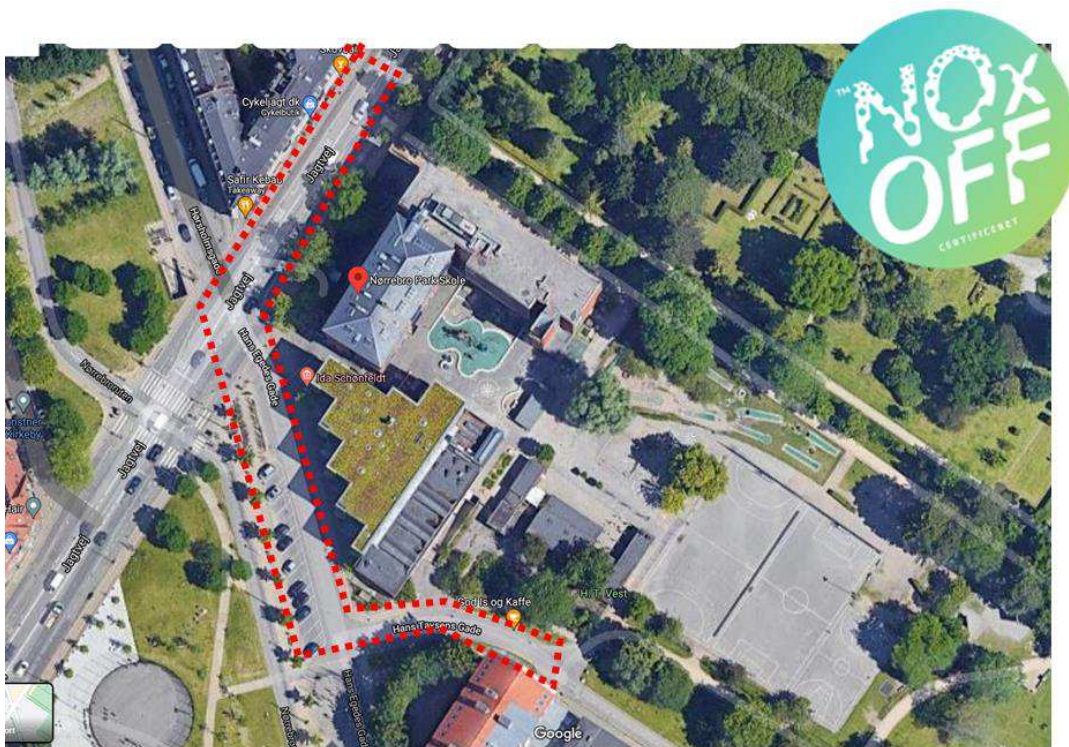
## 2 PROJEKT 'NØRREBRO PARK SKOLE'

Nørrebro Park Skolen var udvalgt som lokation til at få behandlet de omkringliggende arealer med en fotokatalytisk belægning. I alt 3.000 m<sup>2</sup> belægning bestående af både asfaltbelægning og beton fortovsfliser. I projektet var inkluderet rensning af overfladerne før påføring af den fotokatalytiske belægning.

Projektet er et såkaldt efterbehandlingsprojekt, hvor de eksisterende overflader levetidsforlænges ved rensning samt behandling af den fotokatalytiske belægning.

### 2.1 Lokation

Nørrebro Park Skolen i København ligger lige op ad den befærdede Jagtvej på Nørrebro. Jagtvej har installeret en officiel NO<sub>x</sub> måler ca. 1 km længere ud ad Jagtvej. Den anvendes som referencepunkt til de i projektet målte NO<sub>x</sub> værdier.



Figur 1. Oversigt billede af Nørrebro Park Skole fra Google Maps.

Arealet rundt om Nørrebro Park Skolen blev opmålt til ca. 2.500 m<sup>2</sup> asfalt delvist beliggende på Jagtvej og delvist beliggende på den tilstødende Hans Egede Gade, som går fra Jagtvej og ind forbi skolen. Derudover blev der inkluderet i alt ca. 500 m<sup>2</sup> beton fortovsfliser, delvist beliggende på begge sider af Jagtvej, samt langs Hans Egede Gade op langs indgangsfacaden på Nørrebro Park Skolen. På ovenstående luftfoto er de omtalte arealer markeret med rød.

### 2.2 Måleprogram

Som tilvalg til påføringen af den fotokatalytiske belægning ønskede Københavns Kommune en målepakke til at dokumentere luftkvaliteten og NO<sub>x</sub> indholdet i luften omkring Nørrebro Park Skolen i en periode på 12 måneder efter den fotokatalytiske behandlingen.

C.K. Environment A/S anvendes til både opsætning og idriftsættelse inden påføringen af den fotokatalytiske belægning samt til opsamling og validering af data og upload af data til skyen til nem adgang under forsøgsperioden.

Måleprogrammet var designet til at måle NO<sub>x</sub> (NO<sub>2</sub> og NO) nær Jagtvej og i nærheden af Nørrebro Park Skolen. Derudover bliver meteorologiske parameter også målt og monitoreret. Firmaet C.K. Environment A/S, som er eksperter i måling og monitorering af luftbårne stoffer såsom NO<sub>x</sub>, er ansvarlig for måling af NO<sub>x</sub> koncentrationer i real time, kalibrering af måler, opsamling og validering af data.

Efter opsamling og validering af data bliver de rensset (outliers og missing data) og sammenlignet med de officielle målinger af NO<sub>x</sub> fra Jagtvej.

NO and NO<sub>x</sub> bliver målt kontinuerlig hvert minut med et ECOPhysics chemiluminescent analyse apparat (Eco Physics CLD 66). De metrologiske data (vindhastighed, vindretning, luftfugtighed, temperatur og atmosfærisk tryk) indsamles automatisk med en vejrstation (AWS), som er installeret ovenpå NO<sub>x</sub> måleren.

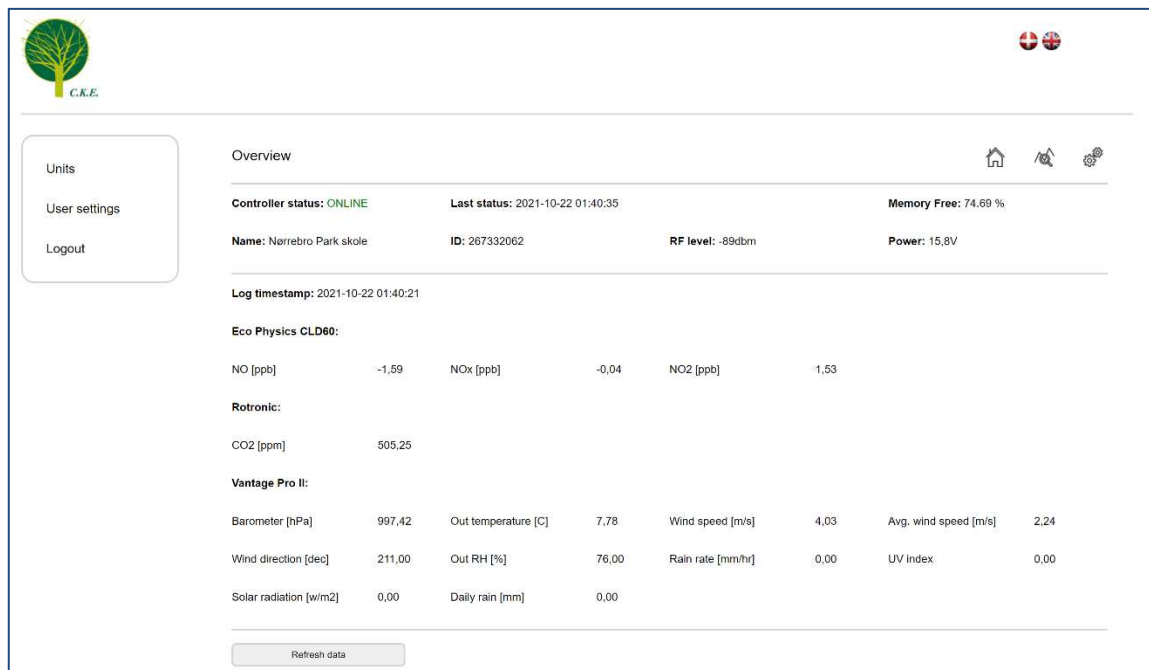
NO<sub>x</sub> måleren er installeret i et aflåst skur på skolens område. Der suges luft ind gennem et rør, som er placeret i ca. 2 meters højde på muren, der grænser op til Jagtvej. Opsætningen af både NO<sub>x</sub> måler og vejrstation kan se på nedenstående billeder.



Figur 2. Placering af NO<sub>x</sub> måler på Jagtvej. Der suges luft ind af metalrøret over muren.

### 2.2.1 Online data

De opsamlede data fra NO<sub>x</sub> måleren logges online. 24 timers data opsamles og uploades herefter. De loggede data kan derfor ses med 24 timers forsinkelse på en til forsøget designet platform af C.K. Environment, se nedenstående screenshot.



Figur 3. Screenshot af online data platform.

Data kan tilgås på følgende adresse:

<https://www.fieldit.dk/NEW/>

Med følgende login detaljer:

UserID: 202122XXXX  
User Login: Photocat  
User Password: XXXX

På den online platform kan data også visualiseres løbende ved brug af det indbyggede værktøj, se eksempel på nedenstående figur.





Figur 4. Screenshot af online data.

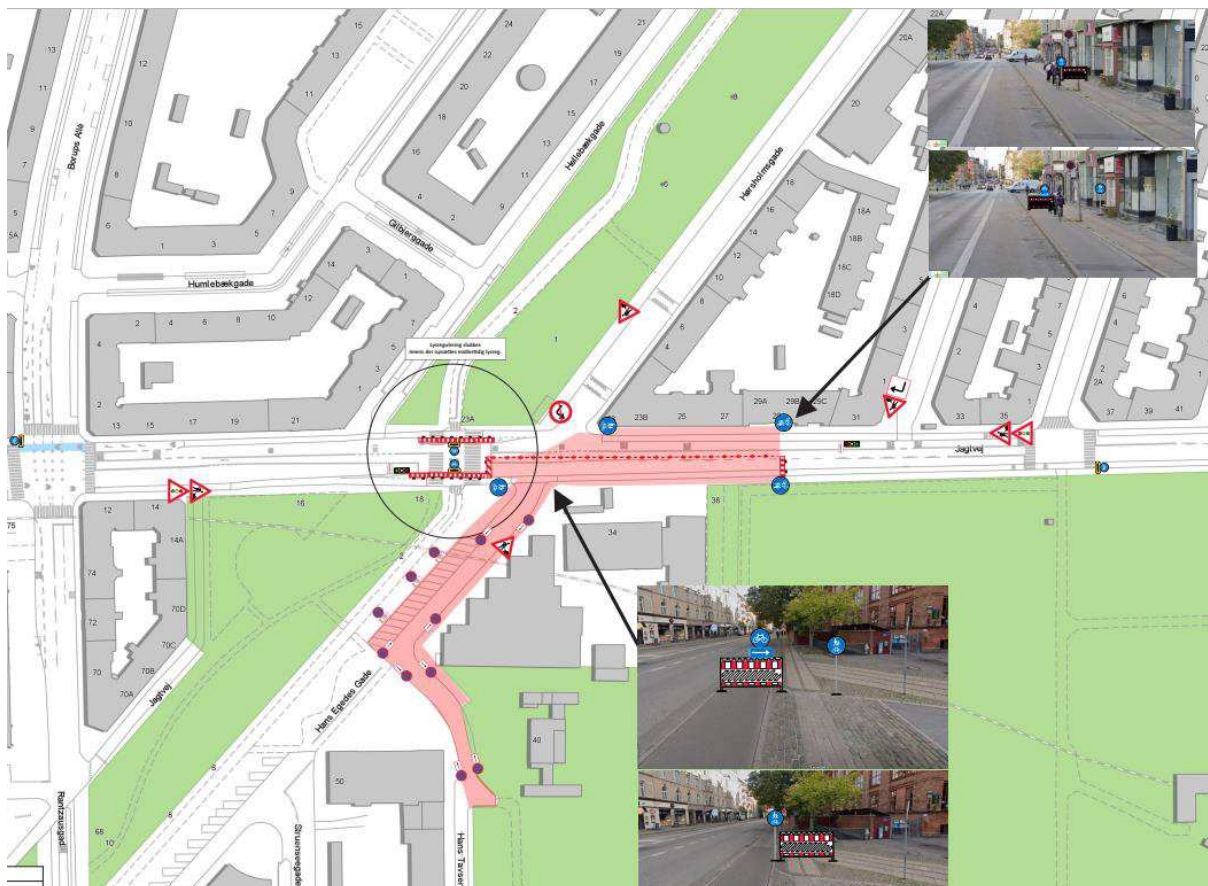
Udførte opgaver som er gjort i måleperioden dokumenteres og uploades i Google sheet, hvor kalibrering og tilsyn med apparatet også er dokumenteret. Se nedenstående screenshot af rapport input fra første måleperiode (første kvartal).

Analyseudstyr på Nørrebro Park Skole										
Fil Rediger Se Indsæt Formater Data Værktøjer Tilføjelser Hjælp										
Kun visning										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Dato	Time	Event	Nul	Nul målt før	Span gas	span målt før	Span justeret	Certifikat	Initialer
3	02/06/2021	12.00	Kalibreret på værksted	Ja		1540 ppb		1540		hn
4	03/06/2021	12.30	Udstyr opsat og kontrolleret							sn/hn
5	03/06/2021	12.30	Kalibreret			750 ppb	545 ppb	Nej		sn/hn
6	03/06/2021	12.45	Systemrespons (spangas påført ved probeindgang)			750 ppb	540 ppb			sn/hn
7	04/06/2021	08.00	WEB protal er oppe at køre og data kan hentes							JB
8	25/06/2021	09.00	Fejl E-03. PLT over heating.							HN
9	01/07/2021	14.00	Fejl medling på vejr station.							HN
10	02/07/2021	10.30	Kalibrering på adressen			1505 ppb	1271 ppb	1505 ppb	96372007001	HN
11	12/07/2021	10.00	Kontrol af kalibrering. Ingen justering.			1505 ppb	1512 ppb	ikke justeret.	96372007001	HN
12	13/07/2021	08.00	kontroller til vejr station skiftet							
13	26/07/2021	09.30	Kontrol af kalibrering. Ingen justering.			1474 ppb	1474 ppb	ikke justeret.	96372007001	HN
14	11/08/2021	09.30	Kontrol af kalibrering. Ingen justering.			1460 ppb	1460 ppb	ikke justeret.	96372007001	HN
15	26/08/2021	09.00	Kontrol af kalibrering. Ingen justering.			1500 ppb	1500 ppb	ikke justeret.	96372007001	HN
16	05/10/2021	13.3	Kontrol af kalibrering. Ingen justering.			1402 ppb	1402 ppb	ikke justeret.	96372007001	HN
17	18/10/2021	10.30	Kontrol af kalibrering. Ingen justering.			1401 ppb	1401 ppb	ikke justeret.	96372007001	HN

Figur 5. Screenshot af online log-bog.

### 2.3 Påføring af fotokatalytisk belægning

Den fotokatalytiske belægning blev påført de aftalte områder søndag d. 6. juni 2021. Inden var påføringen koordineret med Københavns Kommune Teknik og Miljø samt Vej og Park. NNC stod for afspærring, skiltning samt trafikregulering, se nedenstående arbejds-skitse.



Figur 6. Arbejds-skitse for afspærring og skiltning, NNC Roads.

Først blev fortovet på begge sider af Jagtvej renset og efterfølgende blev fortovet foran indgangen til Nørrebro Park Skolen renset.



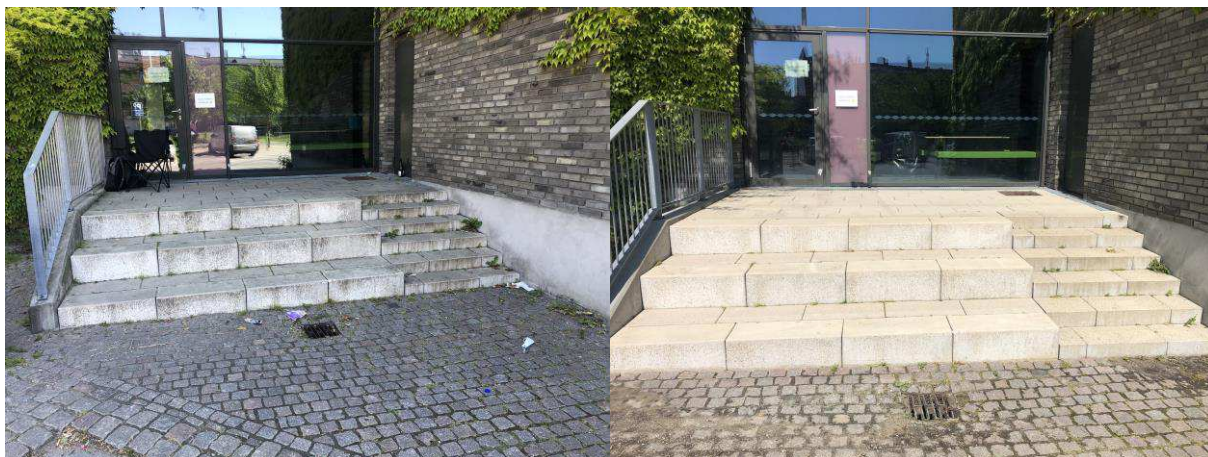
Figur 7. Afrensning af fortovsfliser.

Herefter blev den fotokatalytiske NOxOFF imprægnering til beton fortovsfliserne appliceret.



Figur 8. Applicering af NOxOFF imprægneringsvæske og fliserne mens de tørrer.

Efter ca. 30 min var fortovsfliserne tørre og der kunne åbnes for gennemgang af gående på fortovene langs Jagtvej. På nedenstående er et billede af indgangstrappen på Nørrebro Park Skolen før og efter NOxOFF behandlingen.



Figur 9. Før og efter billeder af NOxOFF behandlingen.

Efter rensnings og behandling af betonfortove blev asfalten rensed ved hjælp af en asfaltrenselastbil, som har en indbygget vandtank og som opsamler vandet efterfølgende.



*Figur 10. Rensning af asfalt.*

Asfalten tørrer i ca. 30 min inden NO<sub>x</sub>OFF belægningen påføres.



*Figur 11. Applicering af NO<sub>x</sub>OFF belægning på asfalt.*

Efter ca. 30 min blev Jagtvej og Hans Egede Gade åbnet for biltrafik.

## 2.4 NO<sub>x</sub> målinger førte kvartal

NO<sub>x</sub> analyseudstyret bliver opsat d. 3/6-2021, kalibreres og data opsamlingen af NO<sub>x</sub> data startede d. 4/6-2021. Data følges løbende af CKE og kalibreringer sker med et på forhånd defineret interval. De første data tilgås den online platform d. 5/6-2021.

Denne rapport omhandler første kvartal af data. Hvilket defineres som værende fra applikationen af den NO<sub>x</sub> reducerende belægning til d. 31/8-2021.

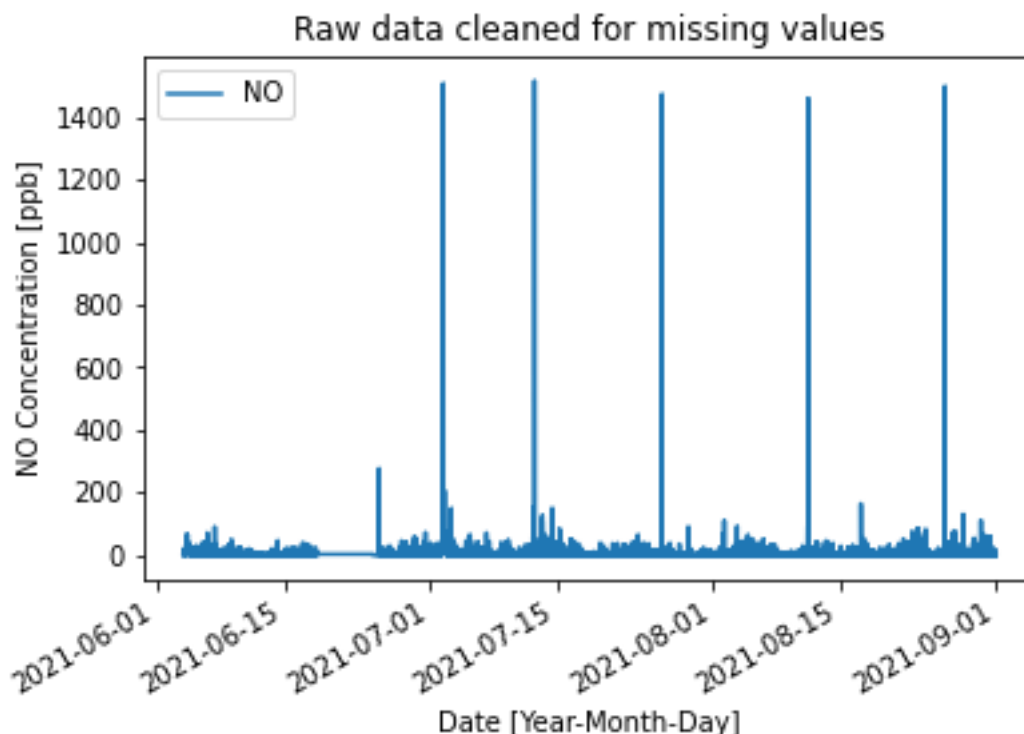
### 2.4.1 Data Cleaning

Data fra Nørrebro Park Skolen indlæses. I nedenstående tabel er en oversigt over rådata.

Tabel 1. Rådata fra Nørrebro Park Skolen i første kvartal.

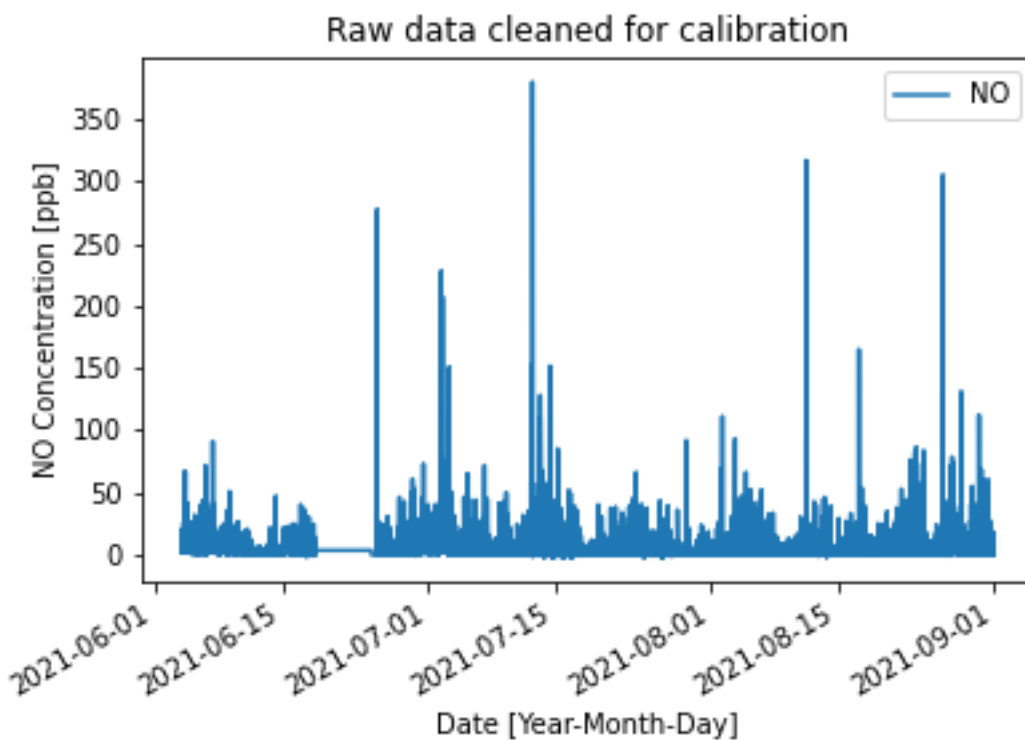
Rådata	128.112
Missing Values (NO)	852
Kolonner med data	19

Der er totalt opsamlet 2.434.128 datapunkter i første kvartal, hvorefter der er registreret 852 rækker med Missing NO<sub>x</sub> værdier. Rækkerne med Missing Values for NO<sub>x</sub> fjernes fra datasættet. På næste figur vises et plot af NO<sub>x</sub> rådata rensed for missing values.



Figur 12. NO<sub>x</sub> rådata fra Nørrebro Park Skole.

Rådata fra Nørrebro Park Skolen viser, at der 5 toppe med høje NO værdier. De 5 tidspunkter stemmer overens med kalibrering af NO<sub>x</sub> apparatet, hvor en span gas på ca. 1500 ppm NO bruges til kalibrering. NO<sub>x</sub> værdierne fra kalibreringerne fjernes fra datasættet (74 data input – 0,06 % eller ca. 74 minutters kalibrering) og det rensede datasæt kan ses på nedenstående figur.



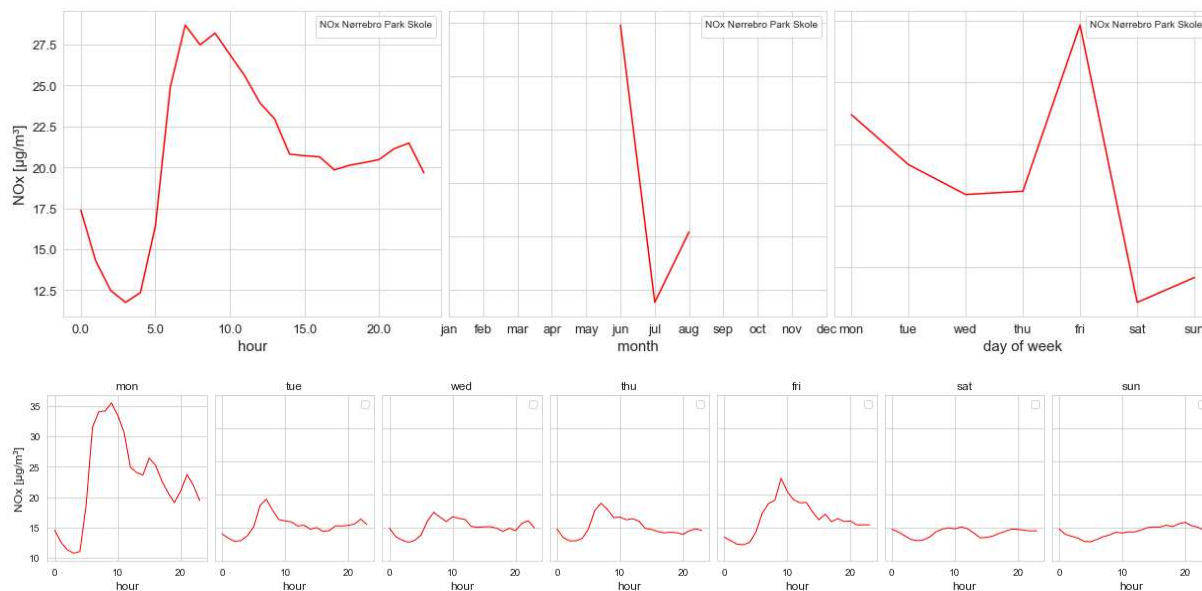
Figur 13. NOx rådata renset fra NOx kalibreringsværdier.

I den følgende tabel er gennemsnitsværdier for de rensede NO, NO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> data i måleperioden.

Tabel 2. Gennemsnitsværdier for NO, NO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> i første kvartal.

NOx værdier 4/6-31/8-2021	
NO [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	4,7
NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	15,8
NO <sub>x</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	20,6

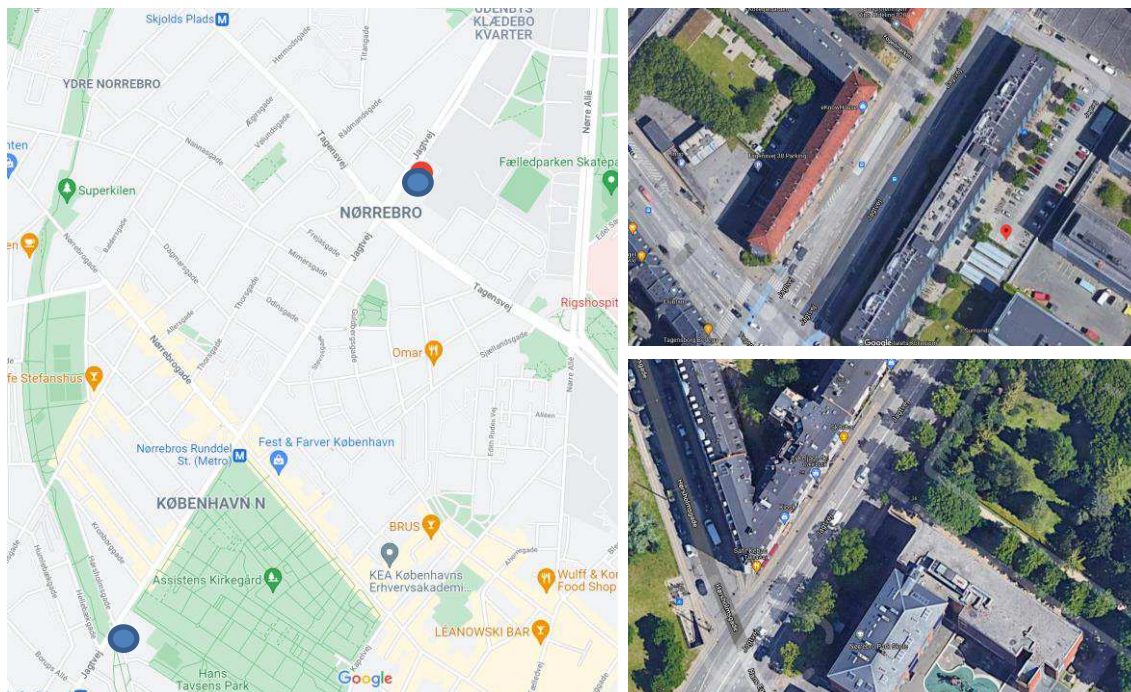
Analyseres der på NO<sub>x</sub> niveauerne ved Nørrebro Park Skolen, så viser nedenstående figur, at der generelt er højest NO<sub>x</sub> værdier om morgenen fra 6 til 10, hvor myldretrafikken er højest, hvilket også er der børnene møder ind på Nørrebro Park Skolen. Der ses også et fald fra juni måned til august. Endeligt kan det ses, at NO<sub>x</sub> værdierne er højest mandage og fredag, mens værdierne i weekenden er markant lavere.



Figur 14. Time-, måneds- og dag på ugen visninger af NOx niveauet ved Nørrebro Park Skolen.

#### 2.4.2 Sammenligning med officielle NOx måler på Jagtvej

Til at sammenholde de målte værdier fra Nørrebro Park Skolen, så anvendes de officielle NOx data fra NOx måleren på Jagtvej (1257 – gadestation). Den officielle NOx måler ligger mellem Tagensvej og Arresøgade ca. 1 km i afstand fra Nørrebro Park Skolen. På nedenstående figur ses placeringen af de 2 målere, samt billeder af omgivelserne.

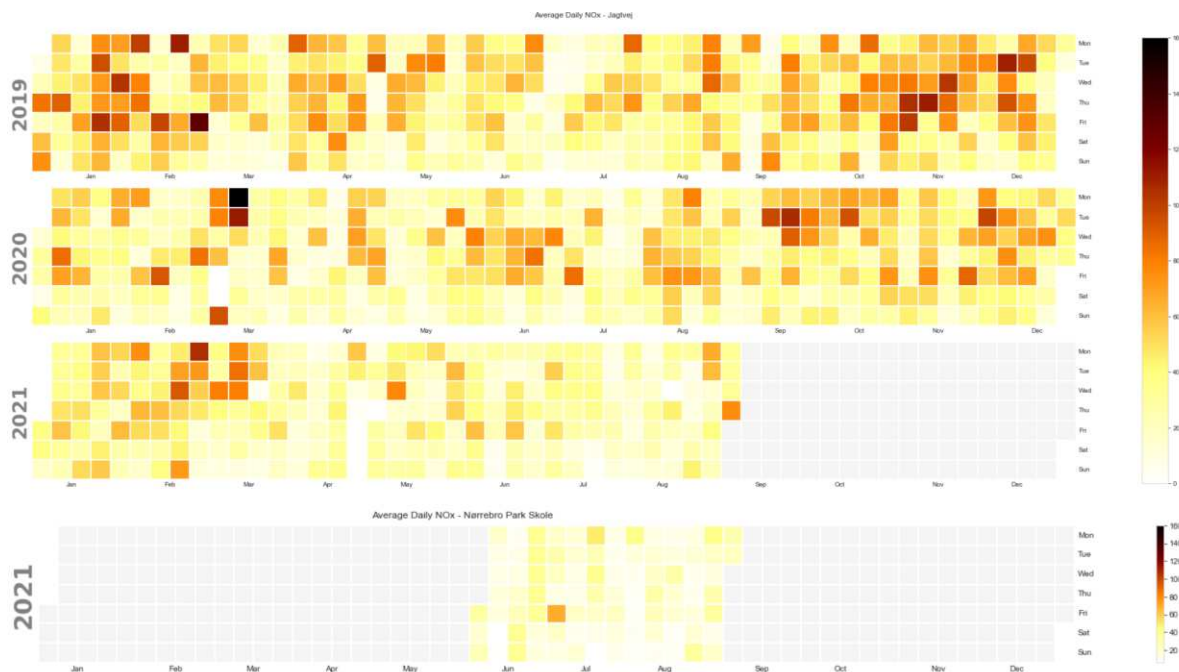


Figur 15. Placering af NOx måler på Jagtvej og Nørrebro Park Skolen, samt Google Map billeder.

De to NOx målere ligger begge på Jagtvej med ca. 1 km afstand. Der kører ca. samme antal biler forbi måleren på Jagtvej og Nørrebro Park skolen. Dog er der 4 spor til biler omkring bilerne på Jagtvej modsat 2 spor på Jagtvej ved Nørrebro Park Skolen. Det gør, at der er mere canyon effekt ved Nørrebro Park Skolen end ved Jagtvej måleren. Observationen på stedet viser

også, at der opstår kødannelser i morgentrafikken ved lyskrydset ved Nørrebro Park Skolen. Både canyon effekten samt kødannelsen ved Nørrebro Park Skolen gør, at der som minimum må antages at være sammenlignelige NO<sub>x</sub> værdier mellem Jagtvej og Nørrebro Park Skolen. Endvidere må det antages, at NO<sub>x</sub> værdierne er højere omkring Jagtvej ved Nørrebro Park Skolen grundet canyon effekt og indsnævring af vej.

På den følgende figur er NO<sub>x</sub> værdierne fra den officielle måler på Jagtvej sammenlignet med de målte NO<sub>x</sub> værdier fra Nørrebro Park Skolen. Der er medtaget NO<sub>x</sub> værdier fra den officielle NO<sub>x</sub> måler fra Jagtvej fra 2019 og til med 31/8-2021. Disse værdier er sammenlignet med de målte værdier fra Nørrebro Park Skolen i et heat map plot.



Figur 16. Heat map af NO<sub>x</sub> værdier fra Jagtvej (3 øverste) og Nørrebro Park Skolen (nederste).

Sammenlignes NO<sub>x</sub> værdierne fra Jagtvej fra 2019 til 2021, så ses der umiddelbart en nedgang i NO<sub>x</sub> i 2021. Det skyldes corona lock-down og den deraf følgende nedgang i biltrafik i København. Sammenlignes perioden d. 4/6-2021 til d. 31/8-2021 for Jagtvej og Nørrebro Park Skolen, så ses det, at heat map for Nørrebro Park Skolen er lysere end for Jagtvej, hvilket indikerer, at NO<sub>x</sub> værdierne fra Nørrebro Park Skolen er lavere end på Jagtvej. Det bekræftes når gennemsnitsværdierne for de to målestationer sammenholdes, se nedenstående tabel.

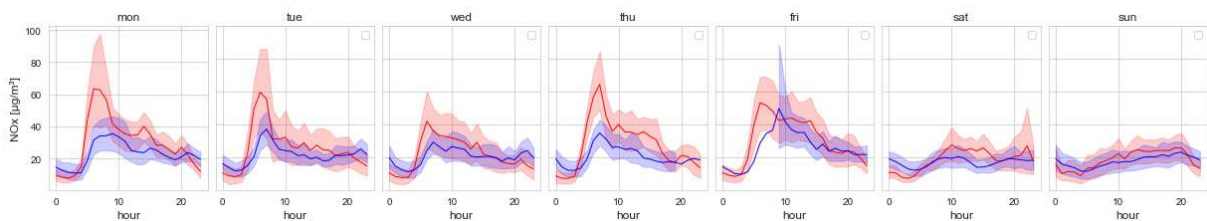
Tabel 3. NO<sub>x</sub> værdier for Jagtvej og Nørrebro Park Skolen fra d. 4/6-2021 til d. 31/8-2021.

Målestation	NO <sub>x</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Jagtvej	24,6
Nørrebro Park Skolen	20,6
Forskel	4,0 (16.2 % fald)

Tabel 3 viser en forskel på 16 % mellem måleren på Jagtvej og den på Nørrebro Park Skolen, hvor der er anvendt en fotokatalytisk belægning.



Sammenlignes dags gennemsnits af NO<sub>x</sub> værdierne på henholdsvis Jagtvej og Nørrebro Park Skolen ses også visuelt, at værdierne ved Nørrebro Park Skolen, hvor der er fotokatalytisk belægning til at reducere NO<sub>x</sub>, er lavere end ved Jagtvej måleren, se nedenstående figur.

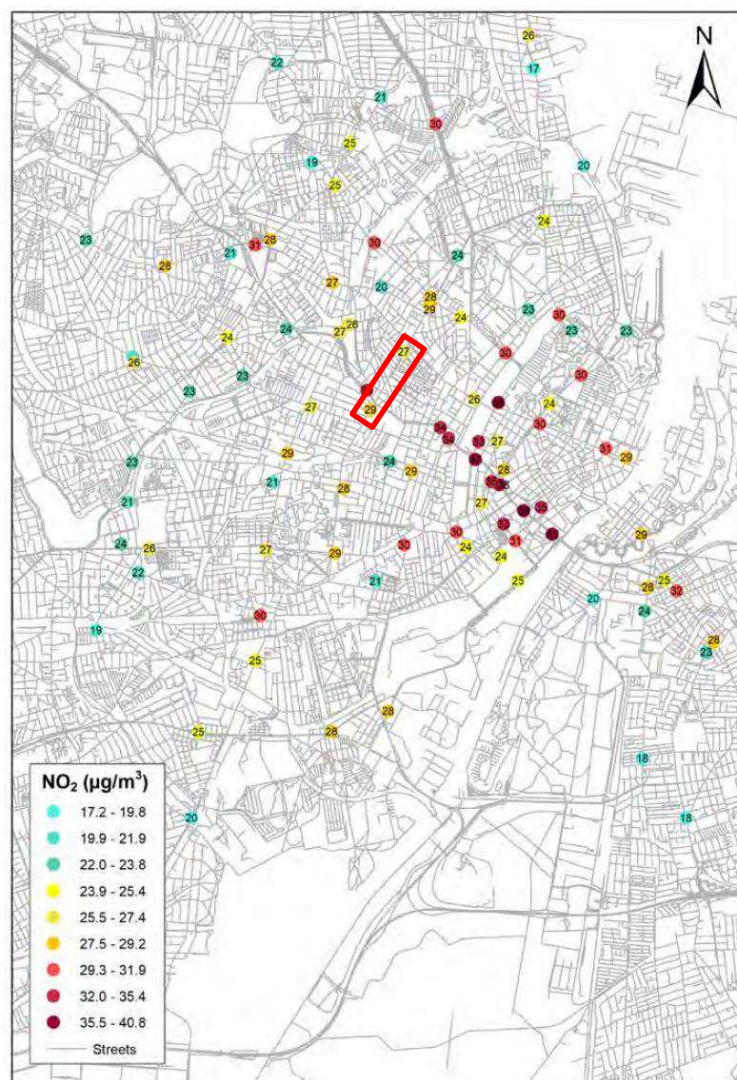


Figur 17. Sammenligning af NO<sub>x</sub> niveauerne på Jagtvej (rød) og Nørrebro Park Skolen (blå).

### 2.4.3 Sammenligning med NO<sub>x</sub> værdier fra andre kilder

Gennemgang af NO<sub>x</sub> værdierne på Jagtvej viser, at niveauet generelt er lavere der, hvor der er anvendt en fotokatalytisk belægning til at reducere NO<sub>x</sub>. Mere bestemt viser en sammenligning med den officielle NO<sub>x</sub> måler på Jagtvej 16 % lavere koncentration af NO<sub>x</sub> ved skolen med den fotokatalytiske belægning. Det selvom det må antages, at NO<sub>x</sub> niveauet er højere ved Nørrebro Park Skolen pga. canyon effekt og indsnævring af vejen.

Kigger vi på de officielle NO<sub>x</sub> værdier for Jagtvej og de senest tal fra årsrapport 2019 – Sundhed og Luftforurening i København [Københavns Kommune, 2020]. Der viser årsmiddelværdierne, at NO<sub>2</sub> niveauet skulle være henholdsvis 27 og 29 µg/m<sup>3</sup> for målestationen på den officielle målestation på Jagtvej (27) og i krydset ved Nørrebro Park Skolen (29). Det bekræfter antagelsen om, at NO<sub>x</sub> niveauet må antages at være højere ved Nørrebro Park Skolen end ved den officielle måler længere ude af Jagtvej. Se nedenstående kort med NO<sub>2</sub> fra årsrapport 2019.



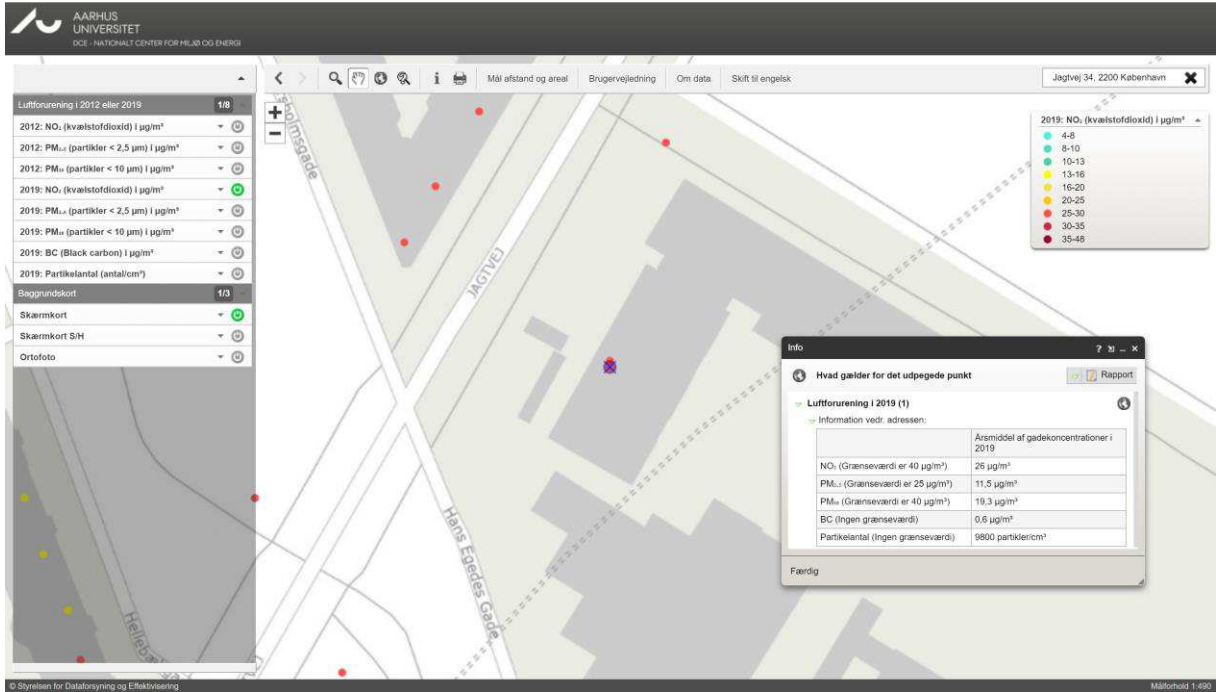
Figur 3.6. Årsmiddelværdier af NO<sub>2</sub> i 2018 beregnet med modelkæden DEHM, UBM og OSPM under Det nationale overvågningsprogram for luftkvalitet. Tallene i prikkerne er afrundede heltal for koncentrationen. Enhed µg/m<sup>3</sup>.

Figur 18. Figur fra årsrapport 2019 om NO<sub>2</sub> middelværdier i Kbh fra 2018. Jagtvej med rød markering.

Sammenligner vi de målt data fra Nørrebro Park Skolen med data fra Årsrapport 2019 [Københavns Kommune, 2020] og 'Luften på din vej' [DCE, 2019], så kan vi ses, at årsgennemsnittet for Nørrebro Park Skolen var 26 µg/m<sup>3</sup> i 2019, hvilket er et fald fra 2018 på 10 %. Hvilket kan sammenlignes med et fald fra 2019 til 2021, hvor der er kommet fotokatalytiske belægninger på 39 %.

Tabel 4. Sammenligning af NO<sub>2</sub> tal for 2018, 2019 og 2021.

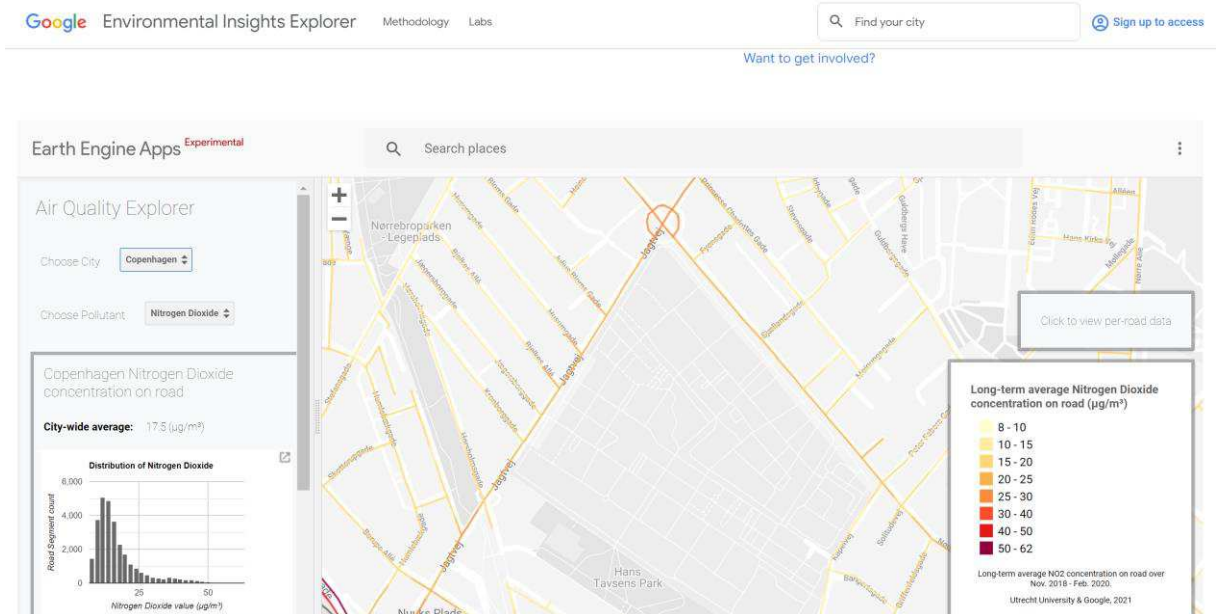
Målestation	2018 (Årsgn.snit)	2019 (Årsgn.snit)	2021 (3 måneder)
Nørrebro Park Skolen NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	29	26	15,8



Figur 19. Screenshot af Jagtvej NO<sub>2</sub> data fra 'Luften på din vej'.

En sammenligning af NO<sub>2</sub> tallene fra 2018 og 2019 for Nørrebro Park Skolen og for de nye målte data fra 2021, ses størst nedgang ved Nørrebro Park Skolen efter installation af den fotokatalytiske belægning. Dog kan tallene ikke direkte sammenlignes, da der sammenlignes årsmiddelværdier for 2018 og 2019 med en periode på 3 måneder for 2021.

Endelig kan de målte værdier sammenlignes med Googles indsamling af NO<sub>x</sub> data fra København fra November 2018 til Februar 2020 [Google, 2020].



Figur 20. Screenshot af Jagtvej NO<sub>2</sub> data fra Googles NO<sub>x</sub> indsamling i København.

Googles indsamling af NO<sub>x</sub> data fra Jagtvej viser, at niveauet omkring Nørrebro Park Skolen ligger i intervallet 25-30 µg/m<sup>3</sup>, og målingerne indikerer også, at niveauet stiger ned mod lyskrydset ved Nørrebro Park Skolen og mere sandsynlig er i niveauet 30-40 µg/m<sup>3</sup>.

Googles indsamlede data bekræfter også antagelsen om, at NO<sub>x</sub> værdierne ved den officielle NO<sub>x</sub> målinger på Jagtvej er sammenlignelige med NO<sub>x</sub> værdierne ved Nørrebro Park Skolen og data indikerer, at NO<sub>x</sub> niveauet burde være højere ved Nørrebro Park Skolen.

Ved at sammenligne Googles opsamlede data med de i projektet målte NO<sub>x</sub> data fra Nørrebro Park Skolen, ses et stort fald i NO<sub>2</sub> på mere 30-50 % i 2021 efter implementering af de fotokatalytiske belægning sammenlignet med gennemsnitsværdien fra 2018 til 2020. Studier fra Frederiksberg viste en corona effekt med et fald i NO<sub>x</sub> på 15 % for Jagtvej fra 2019 til 2020 [Dahl et al., 2021]. Om der stadig er en corona effekt i 2021 fra juni til september kan diskuteres, samt det bør nævnes, at tallene for Nørrebro Park Skolen er for en 3 måneders periode inklusiv ferieperiode.

### 3 KONKLUSION

Luftrensningsteknologier er nødvendige værktøjer for at mindske de økonomiske og sundhedsmæssige konsekvenser af dårlig luftkvalitet, hvilket er blevet endnu mere tydeligt efter WHO's nye anbefalinger fra september 2021, hvor grænseværdien for NO<sub>2</sub> er nedsat til 10 µg/m<sup>3</sup>.

Konklusionerne, efter de første 3 måneder af projektet Ren luft med fotokatalytiske belægninger i København, er, at det er muligt hurtigt at implementere fotokatalytiske belægninger som en efterbehandling på en af de mest befærdede veje i København til fjernelse af NO<sub>x</sub> i byrummet.

Data fra projektet har også vist et signifikant lavere NO<sub>x</sub> niveau ved Nørrebro Park Skolen med den fotokatalytiske belægning end længere oppe af Jagtvej ved den officielle måler, hvor det antages at niveauet ved Nørrebro Park Skolen burde være højere grundet canyon effekt og indsnævring af vej.

Sammenlignes måledata fra de første 3 måneder ses en reduktion på 16 % og sammenlignes det med data fra Årsrapport 2019, Ren luft på din vej (2019 målinger) og Googles NO<sub>x</sub> målinger fra 2018-2020, så tyder det på, at dette tal er et underestimat af den effekt den fotokatalytiske belægning har haft på luftkvaliteten ved Nørrebro Park Skolen.

## 4 REFERENCER

- Besov, A. S. and Vorontsov, A. V., "Fast elimination of organic airborne compounds by adsorption and catalytic oxidation over aerosol TiO<sub>2</sub>," *Catal. Commun.*, vol. 9, no. 15, pp. 2598–2600, 2008, doi: 10.1016/j.catcom.2008.07.018.
- Bisinella, V. , Dahl, L. , Jensen, H. , Mikkelsen, T. and Christensen, T. (2021) Environmental Profile of NO<sub>x</sub> Reduction by a Photocatalytic Surface Coating and a Vehicle Catalytic Converter. *Journal of Environmental Protection*, **12**, 590-623. doi: [10.4236/jep.2021.129037](https://doi.org/10.4236/jep.2021.129037).
- Environmental Audit and Committee, "Air Quality- Fifth report of session 2009-2010 (Volume I)," *Strategy*, 2009.
- Dahl, L., Jensen, H., Bigi, A., Ghermandi G., Photocatalytic NO<sub>x</sub>OFF™ technology applied on asphalt road for urban NO<sub>x</sub> removal in Copenhagen - A solution for clean-air Agenda 2030 (2021), submitted to Journal of Clean Technologies and Environmental Policy.
- DCE – National Center for Miljø og Energi ved Aarhus Universitet. Luften på din vej. <http://lpdv.spatialsuite.dk/spatialmap>
- Frank, S. N. and Bard, A. J., "Heterogeneous Photocatalytic Oxidation of Cyanide Ion in Aqueous Solutions at TiO<sub>2</sub> Powder," *T. H. Wolkenstein Adv. Catal*, vol. 238, no. 2, p. 103, 1972.
- Fujishima, A. and Honda, K., "Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode," *Nature*, vol. 238, no. a, pp. 37–38, 1972, doi: 10.1038/238038a0.
- Fujishima, A., Rao, N. T., and Tryk, D. A., "Titanium dioxide photocatalysis," *J. Photochem. Photobiol. C Photochem. Rev.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–21, 2000.
- Fujishima, A. and Zhang, X., "Titanium dioxide photocatalysis: present situation and future approaches," *Comptes Rendus Chim.*, vol. 9, no. 5–6, pp. 750–760, 2006, doi: 10.1016/j.crci.2005.02.055.
- Google Environmental Insights Explorer (2021). NO<sub>x</sub> niveauet i København fra November 2018 til Februar 2020. <https://insights.sustainability.google/labs/airquality>
- Hao, X., Hou, G. , Zheng, P., Liu, R. and Liu, C., "H<sub>2</sub>S in-situ removal from biogas using a tubular zeolite/TiO<sub>2</sub> photocatalytic reactor and the improvement on methane production," *Chem. Eng. J.*, vol. 294, pp. 105–110, 2016, doi: 10.1016/j.cej.2016.02.098.
- Hoek, G., Brunekreef, B., Goldbohm, S., Fischer, P., and Van Den Brandt, P. A., "Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: A cohort study," *Lancet*, vol. 360, no. 9341, pp. 1203–1209, 2002, doi: 10.1016/S0140-6736(02)11280-3.
- Københavns Kommune, Sundheds- og Omsorgsforvaltning, februar 2020. Sundhed og luftforurening i København, Årsrapport 2019
- Liu, H., Lian, Z., Ye, X. and Shanguan, W., "Kinetic analysis of photocatalytic oxidation of gas-phase formaldehyde over titanium dioxide," *Chemosphere*, vol. 60, no. 5, pp. 630–635, 2005, doi: 10.1016/j.chemosphere.2005.01.039.

- 
- Pedersen, P. D., Lock, N., Jensen, H. (2021). Removing NO<sub>x</sub> Pollution by Photocatalytic Building Materials in Real- Life: Evaluation of Existing Field Studies. *Journal of Photocatalysis*, Vol 2, Issue 2. DOI : [10.2174/2665976X02666210308151731](https://doi.org/10.2174/2665976X02666210308151731)
- Skalska, K., Miller, J. S., and Ledakowicz, S., “Trends in NO<sub>x</sub> abatement: A review,” *Sci. Total Environ.*, vol. 408, no. 19, pp. 3976–3989, 2010, doi: 10.1016/j.scitotenv.2010.06.001.
- Wang, H. and You, C., “Photocatalytic removal of low concentration SO<sub>2</sub> by titanium dioxide,” *Chem. Eng. J.*, vol. 292, pp. 199–206, 2016, doi: 10.1016/j.cej.2016.02.017.
- World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide: executive summary. World Health Organization.  
<https://apps.who.int/iris/handle/10665/345334>. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO