

# Low-cost sensor til måling af luftforurening

Luftforurening er et velkendt problem. Nu kan udviklingen af nye low-cost sensorer give en bedre forståelse af luftforurening og dens spredning. Dertil vil sensorerne være et værdifuldt supplement til den nationale rutinemæssige overvågning af luftkvaliteten i Danmark.

Af Maria Bech Poulsen<sup>1</sup>, Ole Hertel<sup>1</sup> og Sebastian Büttrich<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet

<sup>2</sup> PITLab, IT Universitetet i København



Figur 1. Myldretidstrafik på H. C. Andersens Boulevard i København. Selvom luftforureningen er faldet i de seneste år forekommer der stadig overskridelser af EU's grænseværdier for NO<sub>2</sub>.

Luftforurening er et emne, som de fleste har hørt om, og som optager mange. For eksempel, når der skal købes hus eller lejlighed, når der cykles i myldretidstrafikken eller når brændeovnenes fyringssæson starter i efteråret. Institut for Miljøvidenskab ved Aarhus Universitet modtager ofte henvendelser fra bekymrede borgere med spørgsmål vedrørende luftforurening. Og der er grund til deres bekymring – hvert år er luftforureningen ansvarlig for 4.000 for tidlige dødsfald og samfundsomkostninger på 30 milliarder kroner [1]. Resultater fra såvel dansk som international forskning har dokumenteret, at der selv ved de danske luftforureningsniveauer er alvorlige sundhedseffekter relateret til udsættelse for udendørs luftforurening. Disse effekter omfatter blandt andet øget risiko for astma, bronkitis, diabetes, hjerte-kar-sygdomme og kræft, og der er dokumenteret effekter ved såvel korttids- som langtids-eksponering [1].

Men det skal her nævnes, at luftforureningen i Danmark har været faldende i de seneste år som følge af reguleringer, direktiver og renseteknologiske løsninger [2]. Trods faldende koncentrationer forekommer der stadig overskridelser af EU's fastsatte grænseværdier for forureningskomponenter som nitrogenoxid (NO<sub>2</sub>) på nogle af de mest trafikerede gader i København, heriblandt H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej [3].

## Overvågning af luftforurening

EU's luftkvalitetsdirektiv pålægger alle EU-lande at overvåge luftforureningen samt sikre, at de fastsatte grænseværdier overholdes. I Danmark varetages den nationale overvågning af luftkvaliteten af Institut for Miljøvidenskab AU på vegne af Miljøstyrelsen. 18 målestationer er placeret rundt om i Danmark, således at der måles koncentrationer i henholdsvis gadeniveau, byggrund og i landområder [3]. Selve monitoreringen foregår med ressourcekrævende og omkostningstunge state-of-the-art-instrumenter, hvilket resulterer i måledata af høj kvalitet. Men der er også begrænsninger; f.eks. er studier af forurening i transportmidler samt personlige eksponeringsstudier vanskelige at gennemføre, da måleudstyret ofte er tungt og stort. Kravet til ressourcer begrænser endvidere antallet af målestationer i f.eks. byområder, og her kan udviklingen af nye små low-cost sensorer være et værdifuldt supplement til den rutinemæssige overvågning.

## Nye billige sensorer

Såvel i Danmark som resten af verden arbejdes der på udviklingen af low-cost sensorer til måling af luftforurening. Det



# MASTER OF INDUSTRIAL DRUG DEVELOPMENT

**Get insight into the entire drug development process from molecule to market access**

- Developed in close collaboration between Copenhagen University and the pharmaceutical industry
- Courses combine outstanding academic based researchers with and extensive contribution from leading experts from the pharmaceutical industry

Enroll in the full programme or take individual courses

Read more at [mind.ku.dk](http://mind.ku.dk) or e-mail [master@sund.ku.dk](mailto:master@sund.ku.dk)

**Courses in the study year 2016/2017**

- Drug Formulation and Delivery
- Chemical Process Development and Production of Active Pharmaceutical Ingredients (API)
- Drug Regulatory Affairs in Drug Development
- Deal-making in the Pharmaceutical Industry
- Discovery and Development of Medicines
- Pharmacology

# MASTER OF MEDICINES REGULATORY AFFAIRS

**Become the expert that can help secure a safe, coherent and successful regulatory process**

The Master will give you

- Thorough insight into the regulatory process at all stages during the development of medicines
- An overview of the differences in regulatory demands globally
- The competencies to analyse, predict and advise on medicines regulations and directives

The Master programme is offered in collaboration with Medicademy – part of Lif Education.

Enroll in the full programme or take individual courses

**Courses in the study year 2016/2017**

- Quality – Active Substance and Medicinal Product
- Clinical Development – Efficacy of Medicines
- Discovery and Development of Medicines
- Global Medicines Legislation and Guidelines
- Regulatory Affairs in the USA

Read more at [mra.ku.dk](http://mra.ku.dk) or e-mail [master@sund.ku.dk](mailto:master@sund.ku.dk)



Figur 2. Kalibreringsstudie af den første prototype på målestationen på H.C. Andersens Boulevard.

er imidlertid ikke muligt at udvikle en lille og billig sensor, som måler med samme nøjagtighed og præcision som avanceret måleudstyr. De billigste low-cost sensorer måler ofte luftforureningsgasser i ppm (parts per million)-området, mens der i gademiljøet typisk er tale om niveauer på ppb (parts per billion)-skalaen. Det begrænser sensorernes anvendelse og kan resultere i upræcise og ustabile målinger.

Institut for Miljøvidenskab AU og PITLAB ved IT Universitetet i København er gået sammen om at udvikle low-cost sensorinstrumenter, hvor der i første omgang fokuseres på monitorering af  $\text{NO}_2$  og ozon ( $\text{O}_3$ ).

Hertil anvendes elektrokemiske gassensorer fra Alphasense, som er i stand til at måle i ppb-området. Elektrokemiske sensorer består normalt af tre elektroder; en arbejds elektrode, en referenceelektrode og en måleelektrode, mens sensorerne fra Alphasense ydermere indeholder en såkaldt auxiliary elektrode.

Når gassen diffunderer gennem sensorens yderste membran, vil gassen indgå i en redoxreaktion ved arbejds elektroden (en reduktion i forhold til  $\text{NO}_2$  og  $\text{O}_3$ ), hvorved der dannes en strøm. Den udsendte strøm måles ved måleelektroden ved at lade den modsatte redoxreaktion finde sted. Strømmen udgør sensorens output, som måles i millivolt (mV). Foruden  $\text{NO}_2$ - og  $\text{O}_3$ -sensorer indeholder den samlede sensorenhed en temperatur- og luftfugtighedssensor, da disse parametre er stærkt varierende i udemiljøet og påvirker  $\text{NO}_2$ - og  $\text{O}_3$ -sensorernes måling. Data gemmes på et indbygget hukommelseskort, og sensoren modtager strøm via en USB-udgang.

Kalibreringsstudier af sensorerne er foretaget på overvågningsprogrammets målestation på H.C. Andersens Boulevard, hvor referencedata fra den rutinemæssige monitorering er anvendt. Sensorens output konverteres via matematiske algoritmer til en koncentration i ppb. De første resultater fremgår af figur 3, hvor der ses en god korrelation mellem sensordata (rød stiplede linje) og referencedata (grøn linje). Den gennemsnitlige afvigelse er på ca. 10 ppb.

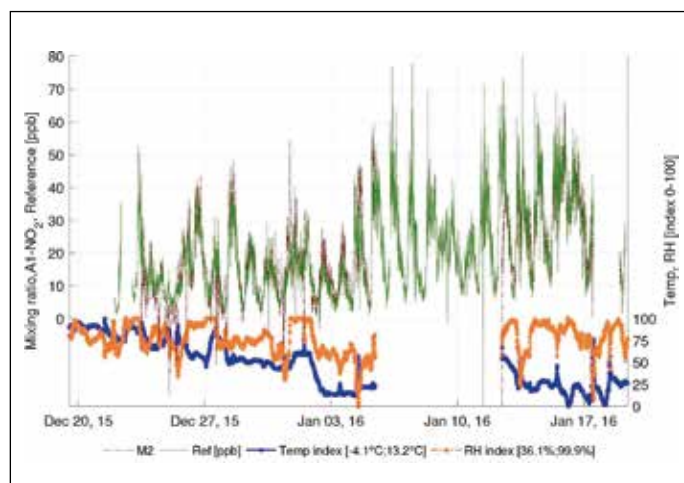
Kalibreringsstudierne samt udviklingen af den første prototype blev foretaget af specialestuderende Christian Jensen i et samarbejde mellem DTU, Institut for Miljøvidenskab og IT Universitetet.

## Den næste generation

Den første low-cost sensorprototype er primært udviklet til stationære målinger, mens en netop færdig version 2.0 er bygget i en mere kompakt og let udgave, hvilket i højere grad muliggør bærbare målinger, figur 4. Denne version 2.0 kalibreres i øjeblikket af tre studerende fra Kemisk Institut, Københavns Universitet. Den næste generation af sensorerne bliver en videreudbygning af version 2.0, så der opnås en let og elegant version til at bære på armen, i hånden eller lignende. Der skal ydermere udvikles en online database, hvor data gemmes, behandles og visualiseres i grafer og tabeller.

## Der er muligheder med low-cost sensorer

Mulighederne med low-cost sensorer er mange. Deres lille størrelse og lave pris gør det muligt at installere et stort netværk af sensorer i byrummet og derved opnå realtime data til kortlægning af større områder. Sensorerne er således et værdifuldt supplement til modelberegninger og det faste overvågningsprogram. Muligheden for mobile målinger gør sensorerne ideelle til personstudier. Der kan udvikles



Figur 3. De første resultater fra kalibreringsstudiet. Rød stiplede linje viser  $\text{NO}_2$ -koncentrationen målt med den første low-cost sensor, mens den grønne linje viser referencedata fra den rutinemæssige overvågning af  $\text{NO}_2$  [4].





Figur 4. Første sensor-prototype i metalboksen og version 2.0 i den lille hvide plastikboks. Mønten er en dansk to-krone.

et undervisningskit, som kan give skoleelever hands-on med luftforureningen eller et screeningsredskab, som kan anvendes til personeksponeringsstudier, når man færdes i byen. Der er med andre ord en spændende fremtid i vente for low-cost sensorerne samt gode muligheder for samarbejde med såvel private virksomheder, industrien samt offentlige institutioner.

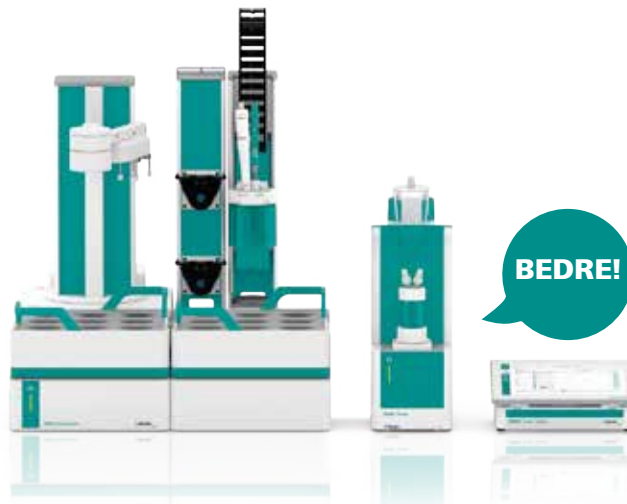
E-mail:  
Maria Bech Poulsen: mabp@envs.au.dk

#### Litteratur

1. Ellermann, T., Brandt, J., Hertel, O., Loft, S., Andersen, Z.J., Raaschou-Nielsen, O., Bønløkke, J., Sigsgaard, T., 2014. Luftforureningens indvirkning på sundheden i Danmark. DCE - Danish Centre for Environment and Energy 96, 1-154.
2. Hertel, O., Brandt, J., Ellermann, T., 2016. Udviklingen i luftkvalitet i Danmark – myter, fakta og perspektiver. DCE-Kronikken.
3. Ellermann, T., Nøjgaard, J.K., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketzel, M., Massling, A., Jensen, S.S., 2015. THE DANISH AIR QUALITY MONITORING PROGRAMME Annual Summary for 2014. DCE - Danish Centre for Environment and Energy 162, 1-67.
4. Jensen, C.K., 2016. Assessing the applicability of low-cost electrochemical gas sensors for urban air quality monitoring. DTU Environment.

**Titration!**  
www.metrohm.dk

**Metrohm**  
Nordic



# OMNIS

VI HÆVER STANDARDEN TIL ET NYT NIVEAU

#### MEGET HURTIGERE

Udfører op til fire automatiske titreringer med det samme system på samme tid.

#### MERE SIKKERT

Ingen udsættelse for kemikalier længere som følge af kontaktfri udskiftning af reagens.

#### MEGET NEMMERE

En grafisk brugerflade & letforståelig brugervejledning gør OMNIS simpelt og sjovt at styre.