

# Entwicklung von Luftmessboxen basierend auf kostengünstiger Sensortechnologie

Paul Gäbel, Christian Koller, Elke Hertig  
Medizinische Fakultät, Universität Augsburg

## Motivation

Die Analyse der Beziehungen zwischen Klima, Luftinhaltsstoffen und Gesundheit konzentrieren sich gewöhnlicherweise auf urbane Umgebungen auf Grund von erhöhten, innerstädtischen Temperaturen, dem höheren Luftverschmutzungsgrad und der höheren Anzahl exponierter Menschen, die diesen Umwelteinflüssen ausgesetzt sind, verglichen zu ländlichen Arealen. Die fortlaufende Urbanisierung, die demographische Alterung und der Klimawandel führen zu einer erhöhten Vulnerabilität, vermittelt durch klimatische Extrema und Luftverschmutzung. Es ist anzuführen, dass systematische Analysen spezifischer lokaler Charakteristika der gesundheitsrelevanten atmosphärischen Bedingungen und der Luftzusammensetzung in städtischen Umgebungen immer noch sehr selten sind, auf Grund des Mangels von hochaufgelösten Beobachtungsnetzwerken. In den letzten Jahren wurden kostengünstige Sensoren entwickelt, welche potentiell die Möglichkeit eröffnen, atmosphärische Gegebenheiten unter hoher räumlicher Auflösung zu ermitteln und diese an Standorten von exponierten Bevölkerungsanteilen zu überwachen.

## Methodik

Wir entwickeln ein Messsystem für mehrere Luftinhaltsstoffe wie Ozon (O<sub>3</sub>), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>), Kohlenstoffmonoxid (CO) und Luftfeinstaub (PM1.0, PM2.5, PM4, PM10), sowie für meteorologische Parameter wie Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit basierend auf kostengünstigen Sensoren. Dieses Vorhaben involviert:

- Design und Zusammensetzung eines kompakten, witterungsbeständigen Gehäuses
- Arduino-Mikrocontroller
- LTE-M-Kommunikationsmodul
- digitale Sensoren (Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Ozon, Stickstoffdioxid, Kohlenstoffmonoxid, Luftfeinstaub)
- analoge Sensoren (Ozon, Stickstoffdioxid, Kohlenstoffmonoxid)
- GPS-Modul
- RTC-Modul
- unterbrechungsfreie Stromversorgung
- LCD-Modul
- Analog-Digital-Wandler (ADC)
- SD-Speicherkartenmodul
- Lüfter
- Sensorauswahl anhand von Literatur und eigenen Analysen
- Sensorkalibrierungen basierend auf der Nutzung hochqualitativer Messstationen für Luftschadstoffe und Meteorologie



Abb. 1: MQ131 (low concentration) (links) und ZE15-CO (rechts)



Abb. 2: MiCS-2714 (links) und MiCS-4514 (rechts) in 3D-gedrucktem und selbst entwickeltem Adapter

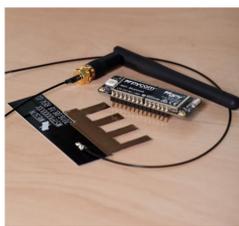


Abb. 3: GPY mit einer LTE-M- und mit einer WiFi-Antenne zur Übertragung der Messdaten



Abb. 4: Feinstaubsensor SPS30

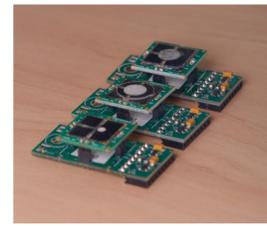


Abb. 5: DGS-O3 (unten), DGS-NO2 (mittig), DGS-CO (oben)

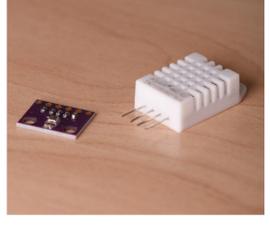


Abb. 6: BME280 (links) und DHT22 (rechts) zur Messung der Temperatur und relativen Feuchtigkeit

## Digitale Gassensoren von Spec Sensors:

- Elektrochemische Sensoren
- Gaskonzentration in Abhängigkeit vom Sensorstromfluss
- Messgenauigkeit: +-15 %
- Stromverbrauch Messmodus [mA]: 3,6 – 4,2
- Umgebungstemperatur [°C]: -20 – 40
- Luftfeuchtigkeit [%RH]: 15 – 95
- >5 Jahre erwartete Lebenszeit
- Preis [€]: ~ 80

Zielgasmessbereich [ppm]:

- Ozon (0 – 5)
- Stickstoffdioxid (0 – 5)
- Kohlenstoffmonoxid (0 – 1000)



Abb. 7: Luftmessstation der Professur für regionalen Klimawandel und Gesundheit für Luftschadstoffe und meteorologische Parameter am Universitätsklinikum Augsburg. Die atmospheric exposure monitoring station (AEMS) dient zur Luftqualitätsmessung direkt in der Patientenumgebung und zur Kalibrierung der AELCM-Boxen.

## Analoge Gassensoren MQ131 (O<sub>3</sub>) und ZE15-CO von Winsen:

### MQ131 (Version: low concentration):

- Metall-Oxid-Halbleiter-Technologie (WO<sub>3</sub>)
- Gaskonzentration in Abhängigkeit vom Sensorwiderstand
- Stromverbrauch Messmodus [mA]: ~ 180
- Umgebungstemperatur (Experiment) [°C]: -10 – 50
- Luftfeuchtigkeit (Experiment) [%RH]: 30 – 85
- Preis [€]: ~ 20

Zielgasmessbereich [ppm]:

- Ozon (0,01 – 1)

### ZE15-CO:

- Elektrochemischer Sensor
- Gaskonzentration in Abhängigkeit vom Sensorstromfluss
- Stromverbrauch Messmodus [mA]: ~ 2 - 3
- Umgebungstemperatur [°C]: -10 – 55
- Luftfeuchtigkeit [%RH]: 15 – 90
- Preis [€]: ~ 14

Zielgasmessbereich [ppm]:

- Kohlenstoffmonoxid (0 – 500)

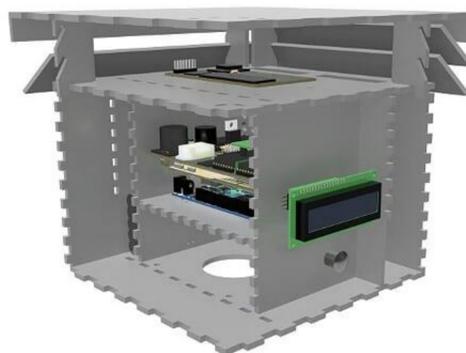


Abb. 8: Modellerte Version der Luftqualitätsmessbox atmospheric exposure low-cost monitoring (AELCM). Die AELCM-Boxen zur Luftqualitätsmessung dienen dem Aufbau des atmospheric exposure monitoring network (AEMN).

## Feinstaubsensor SPS30 von Sensirion:

- Optischer Sensor
- Partikeldetektion anhand von gestreuten Laserlichtstrahlen
- Massenkonzentrationsbereich [µg/m<sup>3</sup>]: 0 – 1000
- Werksseitige Kalibrierung und Prüfung
- Stromverbrauch Messmodus [mA]: 55
- Umgebungstemperatur [°C]: -10 – 60
- Luftfeuchtigkeit [%RH]: 0 – 95
- >10 Jahre erwartete Lebenszeit
- Preis [€]: 30 – 52

Zielmessgröße und Durchmesser [µm]:

- PM1.0 (0,3 – 1,0)
- PM2.5 (0,3 – 2,5)
- PM4 (0,3 – 4,0)
- PM10 (0,3 – 10,0)

## Analoge Gassensoren MiCS-2714 (NO<sub>2</sub>) und MiCS-4514 (CO) von SGX-Sensortech:

- Metall-Oxid-Halbleiter-Technologie (SnO<sub>2</sub>)
- Gaskonzentration in Abhängigkeit vom Sensorwiderstand
- Stromverbrauch Messmodus [mA]: 26, 32
- Umgebungstemperatur [°C]: -30 – 85
- Luftfeuchtigkeit [%RH]: 5 – 95
- Preis [€]: ~ 10, ~ 14

Zielgasmessbereich [ppm]:

- Stickstoffdioxid (0,01/0,05 – 10)
- Kohlenstoffmonoxid (1 – 1000)

## Atmospheric Exposure Monitoring Station (AEMS):

### Messgeräte:

APNA 370 NO/NO<sub>x</sub>-Monitor, APOA 370 O<sub>3</sub>-Monitor, APMA 370 CO-Monitor, APDA 372 PM-Monitor, Meteorologie WS 600

### Messgrößen:

Stickstoffmonoxid, Stickstoffdioxid, Ozon, Kohlenstoffmonoxid, Luftfeinstaubkonzentrationen (PM1.0, PM2.5, PM4, PM10), Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Niederschlagsmenge, Luftdruck, Windgeschwindigkeit, Windrichtung

## Messbox Atmospheric Exposure Low-Cost Monitoring (AELCM)

Kostengünstiges Material bildet die Grundlage unserer leicht zusammensetzbaren AELCM-Box, welche unsere ausgewählten Sensoren vor schädlichen Umwelteinflüssen schützt. Die Maße der aus ABS bestehenden Box sind 24x24x24cm. Wir nutzen eine aktive Ventilierung, um die Sensoren mit Umgebungsluft zu versorgen. Ein Luftpolster zwischen der Außenwand und der Messkammer schützt die Sensoren vor Erwärmung durch Sonneneinstrahlung. Die Sensoren werden modular in Einsteckkarten eingesetzt, um im Fall einer Fehlfunktion eine einfache und schnelle Reparatur zu ermöglichen und um bei mobilen Messkampagnen zusätzliche Stabilität und Verlässlichkeit zu gewährleisten. Die Messbox kann sowohl über Netzstrom oder mehrere Tage über die eingebauten Akkus betrieben werden, die nahtlos übernehmen, falls der Netzstrom ausfällt. Die Datenübertragung zu unserem Server erfolgt in Echtzeit über ein LTE-M-Kommunikationsmodul.