

# **Specificaties** Implementaties van koolstofmonoxide sensoren

F. VAN BEUSEKOM, M. FELIDA, S. VAN BOTTENBURG, J. GROBBEN,  
R. BOLDING  
*Amsterdam University of Applied Sciences*  
*HvA*  
*Sensor Netwerken: groep 5*  
20 September, 2019

# **1 Inleiding**

In dit verslag worden de specificaties besproken van de te ontwikkelen sensor modules voor het project "Sensor Netwerken". Bij dit vak is het de bedoeling dat er low-power sensor modules worden ontwikkeld die de luchtkwaliteit in het HvA gebouw van de faculteit techniek meten en als netwerk informatie uitwisselen met elkaar. Binnen groep 5 is er voor gekozen om koolstofmonoxide te meten (hierna naar gerefereerd als CO). In eerste instantie was er gekozen om stikstofdioxide te meten, de onderbouwing voor de keuze om over te stappen staat beschreven in appendix A. Uiteindelijk moet iedereen van deze groep zijn eigen sensor module ontwikkelen. Aangezien het HvA gebouw van de faculteit techniek te vergelijken is met de meeste professionele werkomgevingen, wordt er voor dit onderzoek gekeken naar de gebruikelijke CO concentraties in gebouwen en hun uitschieters. Op basis daarvan worden de specificaties opgesteld voor de sensor modules.

## **2 Koolstofmonoxide**

Koolstofmonoxide (CO) is een verbinding tussen koolstof en zuurstof. Het is een kleur- en geurloos gas. CO komt vrij bij een onvolledige verbranding. Dit kan erg gevaarlijk zijn voor de gezondheid omdat het gas je ongemerkt vergiftigt. Het word dan ook wel eens een "sluipmoordenaar" genoemd.

### **2.1 Ontstaan van CO**

Bij de verbranding van koolstofverbindingen ontstaat er normaal CO<sub>2</sub>. Als de verbranding onvolledig is, door bijvoorbeeld een tekort aan zuurstof, ontstaat er CO. Een veel voorkomende oorzaak van CO productie zijn niet goed afgestelde of niet goed onderhouden gas kachels en cv-ketels.

### **2.2 Effecten op gezondheid**

CO is erg gevaarlijk voor de mens omdat het geur en kleurloos is. Bij inademing van CO word de zuurstofopname verstoord [1]. In plaats van zuurstof, bind de CO zich aan de rode bloedcellen. Omdat CO zich sterker hecht aan de rode bloedcellen dan zuurstof, word er minder zuurstof door het lichaam vervoerd.

De effecten van blootstelling aan CO zijn het gevolg van een zuurstoftekort in het bloed. Hoe meer CO er word opgenomen hoe minder zuurstof er kan worden opgenomen.

### 3 Algemene koolstofmonoxide concentraties

Het RIVM heeft tussen april 2007 tot en met januari 2008 metingen gedaan in 1028 huishoudens. In 169 van de 1028 huishoudens werden er concentraties boven het detectie limiet van 1 *parts per million* (hierna naar gerefereerd als *ppm*) gevonden. In 8 huishoudens werden er waarden van tussen de 25 en 75 *ppm*, dit waren de meest extreme waarden. In 10 andere huishoudens werden er waarden aangetroffen van tussen de 10 en 25 *ppm* en in de rest van de huishoudens (verreweg de meesten) werden er waarden aangetroffen tussen de 1 en 9 *ppm* [2]. Over een werkdag van 8 uur wordt een tijdgewogen gemiddelde concentratie van 25 *ppm* als grenswaarde aangenomen, over 15 minuten is dit 150 *ppm*. De advies waarden van de Wereldgezondheidsorganisatie (Engels: World Health Organization, WHO) zijn 10 *ppm* als tijdgewogen gemiddelde over 8 uur en 25 *ppm* over 1 uur [3].

#### 3.1 Koolstofmonoxide concentraties in de HvA Leeuwenburg

Om meer te weten te komen over de huidige manieren van meten van de koolstofmonoxide concentraties in het gebouw van de HvA faculteit techniek, is er contact gezocht met het gebouwbeheer. Uit een klein gesprek is gebleken dat er momenteel alleen in de garage CO meters hangen, die wanneer er een bepaalde grenswaarde wordt overschreden (momenteel nog onbekend voor ons welke grenswaarde dat is) alarm slaan waarna vervolgens iedereen de garage moet verlaten.

### 4 Luchtkwaliteit meten

Zoals eerder werd besproken worden de te ontwikkelen sensor modules gebruikt om de luchtkwaliteit te meten. Hierbij wordt dus niet alleen bedoeld om een detector te maken die afgaat na het overschrijden van een bepaalde waarde, maar is het een doel om ook te kunnen meten wanneer je welke concentratie CO in de lucht hebt zitten en hoe ver deze concentratie ligt van de grenswaarden. Binnen groep 5 is afgesproken om de aanname te doen dat de minimale grenswaarde in delen van  $1/5$ e gemeten moet kunnen worden. Aangezien onze sensor modules de hele dag door de CO concentraties in het gebouw moeten meten, gaan we uit van de grenswaarden voor een werkdag (8 uur lang). In dit geval komt de minimale grenswaarde voort uit de Wereldgezondheidsorganisatie (Engels: World Health Organization, WHO) en bedraagt deze 10 *ppm* als tijdgewogen gemiddelde over de hele werkdag. Dit betekent dat wij de CO concentraties willen met een gevoeligheid van 2 *ppm*. Het detectie limiet moet ook  $1/5$ e zijn van de minimale grenswaarde.

Dit bedraagt 2 *ppm*. Aangezien CO een gas is, zullen te ontwikkelen sensor modules elektro-chemische sensoren bevatten. Elektro-chemische sensoren hebben in veel van de gevallen een response tijd, deze mag maximaal je sample tijd bedragen. Zoals hier boven staat beschreven worden de grenswaarden bepaald als een tijdgewogen gemiddelde concentratie en is het een streven om de grenswaarden op een nauwkeurigheid van 1/5e delen te kunnen meten. de minimale blootstellingsduur die wordt omschreven door het RIVM is 15 [3]. Dit betekend dat er dus elke 3 minuten een sample moet worden genomen en dus mag de response tijd van de sensor maximaal 3 minuten zijn. Bij het ontwikkelen van deze sensor modules wordt er gewerkt met het HvA-Xmega-Board. Deze heeft een spanningsregulator die een stabiele spanning van 3,3 V afgeeft [4], Daarom is het wenselijk als de sensor module een voedspanning heeft van zo'n 2,7 V tot 3,3 V.

## 5 Specificaties

Aan de hand van het voorgaande onderzoek zijn de volgende specificaties opgesteld.

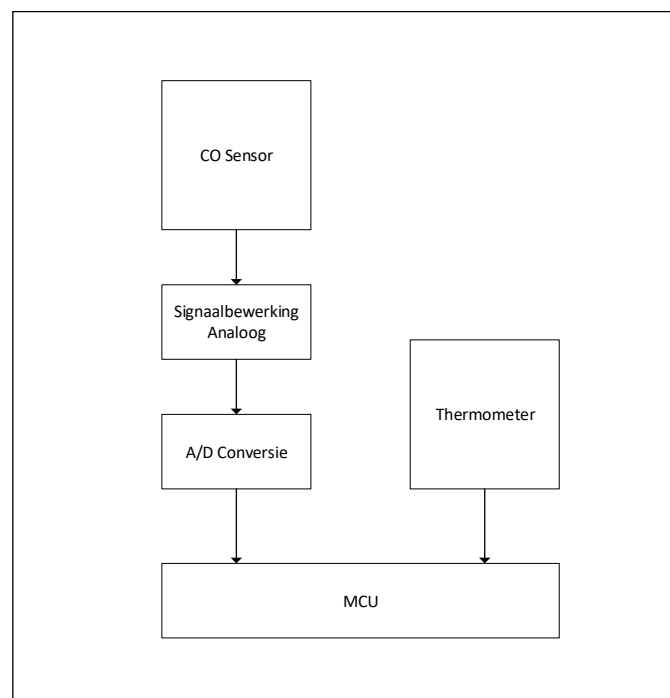
Specificaties voor de implementaties van CO sensoren	
Meet bereik a:	0 - 1000 <i>ppm</i>
detectie limiet:	<2 <i>ppm</i>
detectie resolutie:	2 <i>ppm</i>
response tijd:	< 3 minuut
Voed spanning:	min: 2,7V max: 3,3V
Maximaal vermogen:	1 mW
Output gevoeligheid:	1mV/ <i>ppm</i>

## 6 Ontwerpaanpak

In dit hoofdstuk wordt aan de hand van de gekozen specificaties een ontwerpaanpak omschreven. Voordat er implementatiekeuzes kunnen worden gemaakt zal aan de hand van een gestructureerde ontwerpaanpak de functionele blokken in kaart worden gebracht.

### 6.1 Sensornode

Voor de verschillende sensornodes geldt het volgende algemene blokdiagram (zie Figuur 1). Dit blokdiagram is vanuit de opdracht opgesteld met het doel onze beoogde grootte te meten.



**Fig 1.** Top-view blokdiagram van een sensor node. Deze figuur geldt voor alle vijf de CO detectie nodes.

## Appendix A NO<sub>x</sub> onderzoek

Stikstofoxides zijn verbindingen tussen stikstof en zuurstof in de vormen NO en NO<sub>2</sub>. Stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>) komt vrij bij de verbranding van fossielen brandstoffen. In Nederland zijn de grootste uitstoters van NO<sub>x</sub> het verkeer en de elektriciteitscentrales. De uitstoot van NO<sub>2</sub> heeft gevolgen voor de natuur en de gezondheid. NO<sub>2</sub> wordt dan ook vaak gebruikt als indicator van de luchtkwaliteit.

### A.1 Effecten van NO<sub>x</sub>

Stikstofoxide levert een bijdrage aan de vorming van zure regen. Blootstelling aan NO<sub>2</sub> hangt samen met luchtwegklachten zoals verminderende longfunctie, astma-aanvallen en infecties. NO daarin tegen heeft weinig gezondheidseffecten [5].

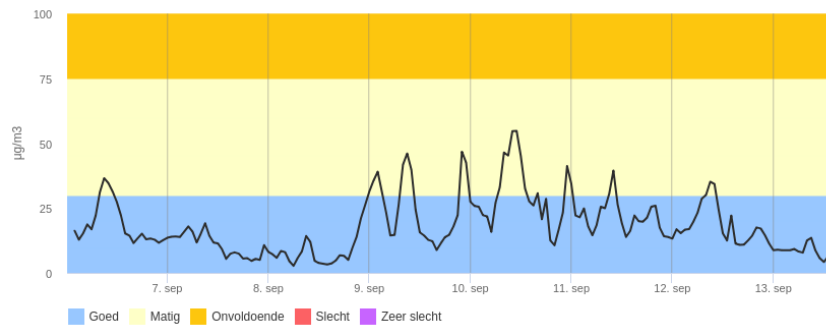
#### A.1.1 Normen

De norm voor het jaargemiddelde NO<sub>2</sub> is 40 µg/m<sup>3</sup>. Deze norm wordt lokaal enkele keren per jaar overschreden. Omdat het verkeer veel NO<sub>2</sub> uitstoot, geldt een maximaal toegestaan uurgemiddelde van 200 µg/m<sup>3</sup> voor wegen waar meer dan 40.000 motorvoertuigen per etmaal gebruik van maken.

Soort norm	Concentratie
Jaargemiddelde	40 µg/m <sup>3</sup>
Uurgemiddelde	200 µg/m <sup>3</sup> *

\* Van toepassing voor wegen waarvan ten minste 40.000 motorvoertuigen per etmaal gebruik maken.

De gemiddelde concentratie NO<sub>2</sub> in de Amsterdamse buitenlucht ligt rond de 25 µg/m<sup>3</sup> (13 ppb). De concentraties binnen liggen meestal een factor 2 lager dan buiten.



**Fig 2.** Meetwaardes  $NO_2$  Kantershof Amsterdam zuidoost. 6 tot 11 september 2019 [6]

### A.1.2 Sensoren

Om de voorkomende niveau's te kunnen meten moet de gekozen sensor een meetbereik hebben tussen de 0 en de 40 ppb, met een resolutie van 1 ppb.

De  $NO_2$ -B43F  $NO_2$  sensor is een chemoresistive sensor van Alphasense en lijkt de beste optie maar is niet geschikt.

Deze sensor een meetbereik van 0 tot 20 ppm met een meetonzekerheid van 15 ppb. Deze sensor is niet gevoelig genoeg om de lage concentraties met een resolutie van 1 ppb uit de lucht goed te kunnen meten.

Sensoren die  $NO_2$  meten hebben een kruisgevoeligheid voor andere gassen zoals  $O_3$  en zijn erg gevoelig voor veranderingen in temperatuur en luchtvochtigheid.

De sensor moet energie zuinig zijn waardoor chemoresistive sensoren niet geschikt zijn omdat deze een continu verbruik is in de ordegrrootte van 50 mW [7].

### A.1.3 Conclusie

Er is geen sensor op de markt beschikbaar om de concentraties  $NO_2$  die we verwachten te meten. De beschikbare sensoren zijn niet gevoelig genoeg en verbruiken te veel energie. Daarom is er voor gekozen om af te stappen van het meten van  $NO_2$  als indicator van de luchtkwaliteit binnen de HvA gebouwen. Als alternatief is gekozen voor het meten van CO concentraties in de lucht. CO is een giftig gas en kan vrijkomen bij onvolledige verbrandingen en is daarom belangrijk om dit gas tijdig te registreren.

## Appendix B Proof of Concept ('Work in Progress')

Dit document beschrijft de software implementaties van groep 5 voor het vak "Sensornetwerk Ontwerp" aan de Hogeschool van Amsterdam.

Het doel van de opdracht is om een dynamisch netwerk van sensornodes te maken, waarbij in dit document de nadruk ligt op de algemene netwerkstructuur en de implementatie in MCU van de sensornodes. Hiervoor geldt over het algemeen dat het stuk software wat in dit document beschreven wordt gelijk is voor alle sensornodes. Tijdens de ontwikkeling van de individuele sensorimplementaties (vak "Sensormodule Ontwerp") kan de code afhankelijk per node worden aangepast.

Het doel van dit document is om een 'proof of concept' te geven van de algemene netwerkstructuur waar de sensornodes tijdens het vak "Sensormodule Ontwerp" gebruik van zullen maken.

### B.1 ISO groep

Om te zorgen dat de nodes van de verschillende groepen elkaars datapakketten kunnen interpreteren en doorsturen zijn er afspraken gemaakt tussen de 5 groepen. Elke groep leverde 1 afgevaardigde, de 5 afgevaardigden vormden de ISO groep. De afspraken die de ISO-groep gemaakt heeft zijn opgesteld in[?].

Naast afspraken over de algemene NRF-instellingen zijn er ook afspraken gemaakt over de berichttypes en de bijbehorende headers.

Bericht headers staan in de onderstaande tabel.

#### Message Types

Mask	Description	Pipe
0x1	ID Broadcast	0
0x2	Routine Routing Table	1
0x3	Receive Port Data	1
0x4	Broadcast Reply	1

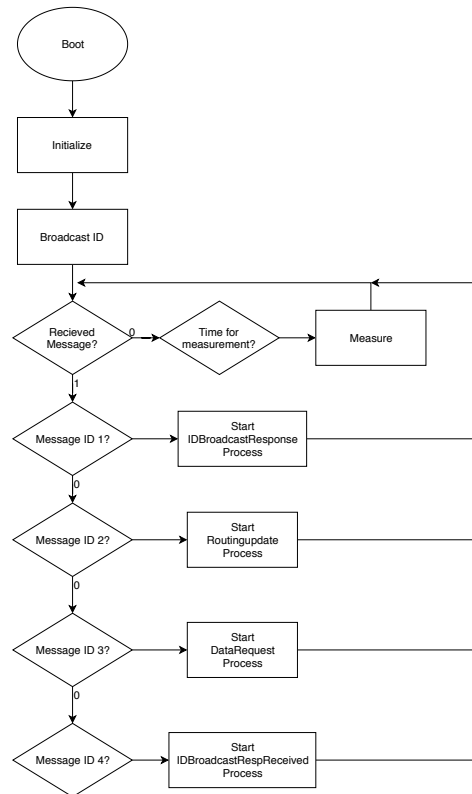
### B.2 Algemene Node Programma

Zoals besproken in de inleiding van dit document het grootste deel van de programma code voor de node MCU's gelijk. In dit hoofdstuk wordt deze code besproken.



### B.2.1 Flowchart

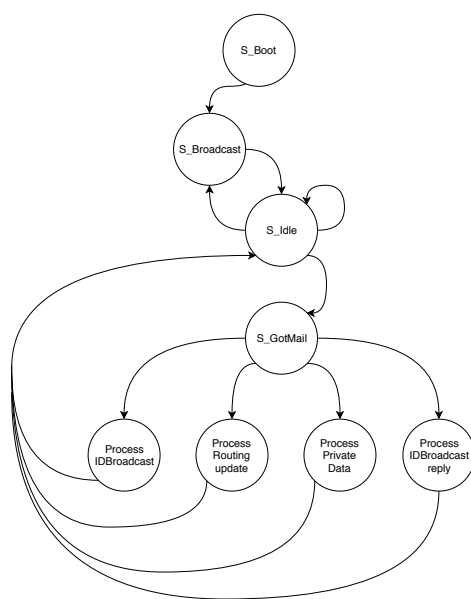
Om de algemene node-code inzichtelijk te maken is gebruik gemaakt van ene flowchart. In Figuur 3 is deze flowchart te zien.



**Fig 3.** Nadat de node opgestart wordt (Boot) de MCU geïnitieerd in het blok [Initialize] **Figuur dient in deze versie als voorbeeld en zal geupdate worden wanneer het basis ontwerp af is.**

### B.2.2 Statemachine

Omdat MCU veel aan het wachten is op berichten om deze vervolgens te verwerken is gekozen als implementatie een statemachine te gebruiken. Deze is afgebeeld in Figuur 4 Statemachine die de verschillende states laat zien waar de Xmega in komt vanaf het opstarten.



**Fig 4. Figuur dient in deze versie als voorbeeld en zal geupdate worden wanneer het basis ontwerp af is.**

## References

1. M. Ticheler, "Koolmonoxide," [https://www.leefmilieu.nl/sites/www3.leefmilieu.nl/files/imported/pdf\\_s/MGM\\_2008-02\\_koolmonoxide.pdf](https://www.leefmilieu.nl/sites/www3.leefmilieu.nl/files/imported/pdf_s/MGM_2008-02_koolmonoxide.pdf), RIVM, Februari 2008, [Online; Bekeken in september 2019].
2. M. van Bruggen, J. Gram, E. Boels, L. Ruhaak, and M. Mooij, "Koolmonoxide in huurwoningen in de randstad," <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/609300009.pdf>, RIVM, Februari 2008 [Bekeken in september 2019], [Online; Bekeken in september 2019].
3. M. Mooij, "Chronische blootstelling aan koolmonoxide, tabel 2.2," <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/609300005.pdf>, RIVM, Februari 2008 [Bekeken in september 2019], [Online; Bekeken in september 2019].
4. *De taal C en de Xmega (2e druk)*. Free Musketeers uitgeverij en productie, 2016, iSBN: 978-90-484-3527-2.
5. J. Wesseling, S. van der Zee, and P. Nguyen, "Gemeten en berekende no2-concentraties in amsterdam in 2008," <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/680705015.pdf>, 2008, [Online; Bekeken in september 2019].
6. "Meetgegevens no2," <https://www.luchtmeetnet.nl>, 2019, [Online; Bekeken in september 2019].
7. "Datasheet," <http://www.alphasense.com/WEB1213/wp-content/uploads/2018/12/NO2B43F.pdf>, 2018, [Online; Bekeken in september 2019].