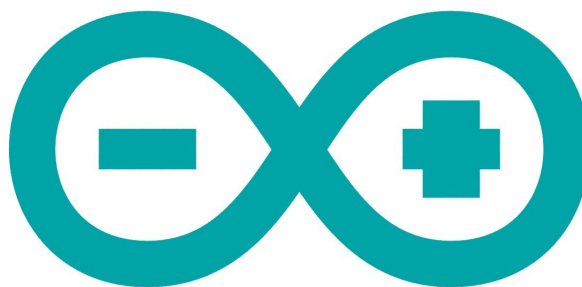


Heilig Graf
Patersstraat 28
2300 TURNHOUT



GIP

Arduino



Axel Van Gestel

GIP-mentor: Mevr. Urszula Nedzinska & Mr. Jan Thielemans

Voorwoord

Cette épreuve intégrée offre des connaissances sur le fonctionnement d'un Arduino, de certains capteurs et fournit des informations sur le CO₂ et ses effets. Il est également mentionné comment vous pouvez construire un compteur de CO₂ via un Arduino.

Je suis arrivé à ce sujet grâce à ma passion pour la programmation et l'électronique, deux aspects d'Arduino. J'ai cette passion depuis que je suis enfant; je voulais savoir alors comment tout fonctionnait et j'ai même démonté certains appareils pour examiner leur fonctionnement. La passion pour la programmation a débuté vers l'âge de 15 ans. Je voulais savoir alors comment tout fonctionnait. La partie CO₂ du projet a été ajoutée comme second choix. Mon premier choix a été de construire un robot autopropulsé doté de capteurs à ultrasons. Mais les capteurs étaient trop simples à expliquer, c'est dommage.

Je voudrais remercier Urszula Nedzinska et Jan Thielemans pour toute l'aide et le temps consacrés à ce projet en tant que mentors. Je voudrais également remercier Bert Op de Beeck pour tout le travail de soudure qu'il a effectué jusque tard dans la soirée.

Axel Van Gestel

Inhoudstafel

Voorwoord	3
Inhoudstafel	4
Abstract.....	6
1 Arduino.....	7
2 Sensoren.....	8
2.1 CO₂ sensor	8
2.1.1 Infrarood gebaseerd	8
2.1.2 Chemisch gebaseerd.....	9
2.1.3 Algemene gaswet	10
2.2 Luchtvochtigheidssensor	11
2.3 Temperatuursensor	11
2.3.1 Negative Temperature Coefficient (NTC) thermistor.....	11
2.3.2 Resistance Temperature Detector (RTD).....	12
2.3.3 Thermokoppel	12
2.3.4 Halfgeleider gebaseerde sensoren.....	13
2.4 I²C communicatieprotocol	13
2.4.1 Achtergrond.....	13
2.4.2 Werking	14
2.5 Veilige CO₂ waarden	14
2.5.1 Toetsingskader CO ₂ België	15
2.5.2 Effecten CO ₂ op lichaam	15
2.6 CO₂ productie mens	17
3 Praktische proef.....	19
3.1 Proefopstelling	19
3.1.1 Meettoestel	19
3.1.1.1 Schakelschema	19
3.1.1.2 Componenten.....	20
3.1.1.3 Code.....	20
3.1.2 Plaatsing meettoestel.....	26
3.2 Hypothese	27
3.2.1 Invloed volume	27
3.2.2 Invloed aantal personen.....	27

3.2.3	Invloed verluchten.....	27
3.3	Principe.....	27
3.4	Meetresultaten.....	28
3.4.1	Tijdsverloop CO ₂ - en TVOC-concentratie	28
3.4.2	Tijdsverloop vochtigheidsgraad en temperatuur	31
3.5	Berekeningen	34
3.5.1	Invloed volume	34
3.5.1.1	Groot volume	34
3.5.1.2	Klein volume	34
3.5.2	Invloed aantal personen.....	34
3.5.2.1	21 personen.....	34
3.5.2.2	24 personen.....	34
3.5.3	Invloed verluchten.....	35
3.5.3.1	Geen verluchting	35
3.5.3.2	Met verluchting	35
3.6	Bespreking	35
Besluit	36	
Ervaringen met GIP	37	
Literatuurlijst.....	38	

Abstract

Axel Van Gestel, Technic Sciences, Heilig-Graf Turnhout, Submitted 8 May 2019

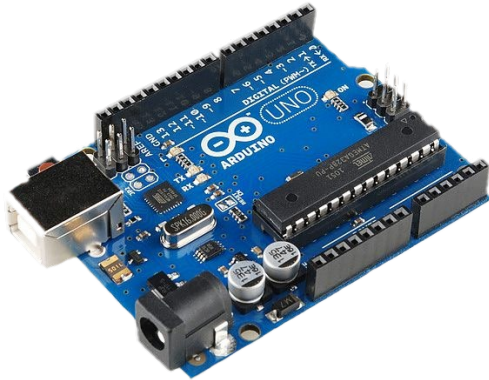
Abstract:

Background The purpose of this study is to investigate the possibility of building a simple yet effective CO₂ sensing device using an Arduino, a CO₂ sensor, Humidity and temperature sensor and a micro SD-Card reader and using it in a couple of small experiments.

Results The build of the CO₂ sensing device used in the experiments consists of an Arduino Uno as the main controller as it is just powerful enough and pretty energy efficient. A CCS811 chemical CO₂ sensor instead of an Infrared based on the extreme price difference, the drawback is that the accuracy is reduced to a 25% margin of error and it is affected by humidity and temperature differences. A DHT11 all in one humidity and temperature sensor and a SD-Card module with a 4GB SD-Card for storing the results. With this build, we concluded that the concentration of CO₂ increases more rapidly as the number of people increases, decreases more as the number of open windows increases when there is a clear flow of air and decreases as the volume of the room increases.

Conclusions If possible, go with an Infrared based CO₂ sensor as the accuracy of a chemical one leaves much to be desired. A more powerful controller such as a Raspberry Pie may be preferred as it has a built-in SD-Card and Wi-Fi for remote access.

1 Arduino



Figuur 1.1 Arduino UNO R3

Arduino is een open-source elektronica platform, ze bestaan uit een microprocessor en verschillende in- en uitgangen zoals te zien op figuur 1.1 waarmee men sensoren of data kan aflezen. De gebruikte programmeertaal is de Arduino programming language, deze is gebaseerd op Wiring wat op zijn beurt zeer sterk op C/C++ lijkt, een zeer populaire programmeertaal.

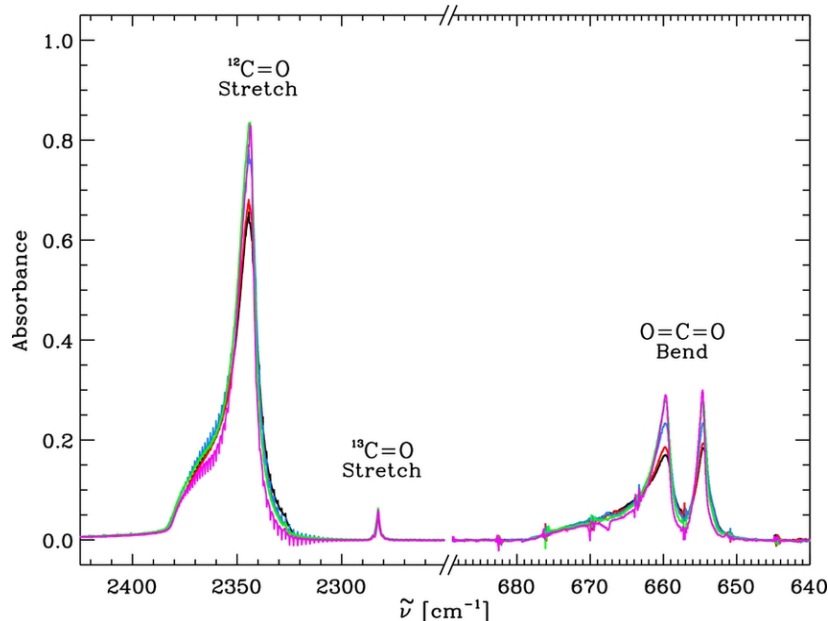
Arduino wordt veel gebruikt om snel prototypes te bouwen en kan in sommige gevallen duurdere apparaten vervangen zoals Daniel Steingart heeft gedaan met de Ardustat, dit vervangt een galvanostat van 4300€ met een Arduino gebaseerde Ardustat van 53€.

2 Sensoren

2.1 CO₂ sensor

2.1.1 Infrarood gebaseerd

CO₂ absorbeert infraroodstralingen (IR) met een golflengte tussen de 4000 en 4500nm.

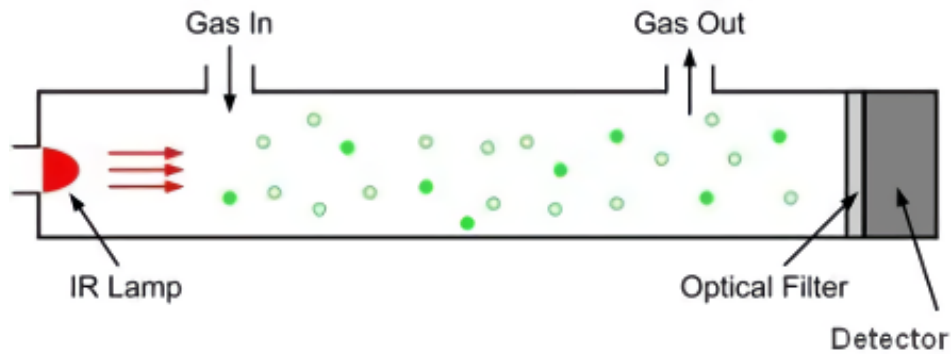


Figuur 2.1 Absorbantietiegraad CO₂ bij verschillende golfgetallen

Dit gebeurt doordat fotonen van het infraroodspectrum vibraties veroorzaken in de covalente verbindingen tussen de atomen. Men kan het aantal mogelijke vibraties bepalen aan de hand dat een molecule met n-aantal atomen $3n$ mogelijke bewegingen, waarvan zes translaties en rotaties van het molecule zelf zijn. Dit laat dan $3n-6$ mogelijke bewegingen vrij of $3n-5$ als het molecule lineair is.

Een CO₂-molecule heeft dus vier mogelijke vibraties om de infraroodstralingen te absorberen, twee antisymmetrische strekking bij een repetentie van 2343 en 2283 cm⁻¹ en twee ontaarde buigingen bij een repetentie van 660 en 655cm⁻¹ respectievelijk zoals te zien als de vier pieken in figuur 2.1.

Een IR CO₂ sensor heeft 5 belangrijke onderdelen, een IR-lichtbron, meetkamer, interferentiefilter en een IR-sensor zoals te zijn in figuur 2.2. De lichtbron zendt IR-straling uit, deze gaan door de gas-oplossing richting de interferentiefilter die geplaatst is voor de IR-sensor, deze zorgt ervoor dat alleen de gewenste golflente, in dit geval golflengtes 4000 tot 4500nm in de IR-sensor komt. Als er absorptie plaatsvindt zal de lichtsterkte dalen.

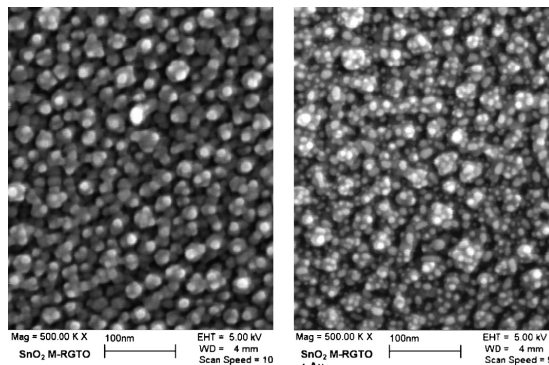


Figuur 2.2 Werking IR-CO₂ sensor

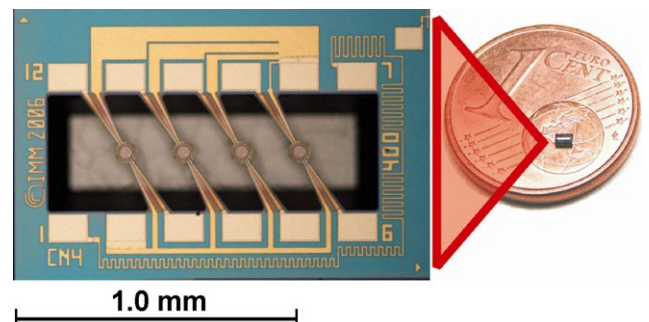
Door deze absorptie kan men via de wet van Lambert-Beer de exacte concentratie bepalen met de formule $c = \frac{\mu_{10}(\lambda)}{\varepsilon(\lambda)}$ met absorptiecoëfficiënt (μ_{10}) en een extinctiecoëfficiënt (ε) van $1214 \text{ L}\cdot\text{cm}^{-1}/\text{mol}$ bij een repetentie van 2343 cm^{-1} .

2.1.2 Chemisch gebaseerd

Een ultra-low-power (ULP) metal oxide (MOX) gas sensor meet via een chemiresistor de concentratie aan Total Volatile Organic Compounds (TVOC). Via een functie die men via verscheidende data heeft opgesteld kan men de equivalente CO₂ (eCO₂) berekenen. Wegens het gebruik van een functie en niet de eigenlijke CO₂ concentratie in de lucht om de CO₂ concentratie te bepalen is dit type sensor niet even correct als een IR-sensor met een foutpercentage van $\pm 25\%$.



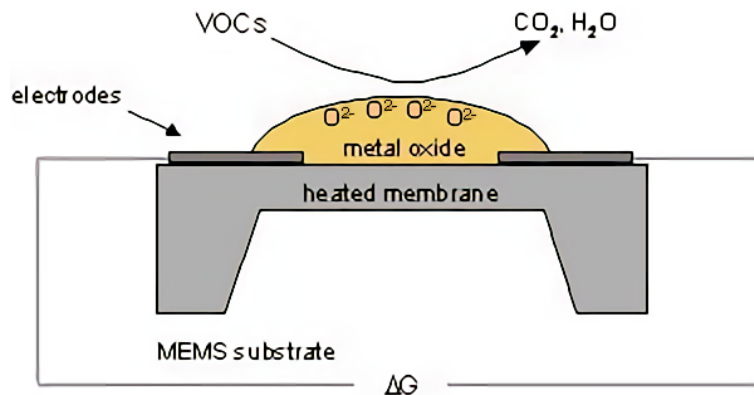
Figuur 2.3 Links: SnO₂; Rechts: SnO₂ + Au



Figuur 2.4 Micro-warmteplaten rijen in vergelijking met een 1 eurocent munt.

MOX-gas sensors bestaan uit een halfgeleidend, nano kristallijn metaaloxide als detectie laag, in dit geval tin(IV)oxide (SnO₂) met gouden nanodeeltjes als katalysator zoals rechts te zien op figuur 2.3 die op een cirkelvormige micro-warmteplaat met een typische werktemperatuur van 400°C bevestigd wordt. Twee elektroden meten de stroomsterkte die door de detectie laag vloeit. Er kunnen meerdere van deze micro-warmteplaten in één MOX-gas sensor geplaatst worden zoals te zien op figuur 2.4 wegens de kleine oppervlakte dat ze innemen.

Het principe achter een metaaloxidesensor zoals geïllustreerd in figuur 2.5 houdt in dat VOC's uit de omgevingslucht in contact komen met de SnO_2 -laag en wegens de hoge temperatuur zullen deze VOC's verbranden, reagerend met de zuurstofatomen in de kristallijne structuur zoals te zien in figuur 2.3. De elektronen die vrijkomen door deze chemische reactie leiden tot een hogere geleidbaarheid van de detectie laag. Zodra dat de lege roosterplaatsen weer gevuld zijn met zuurstofmoleculen uit de omgevingslucht keert de geleidbaarheid terug naar de beginwaarde.



Figuur 2.5 Principe MOX-gas sensor

chemische reactie leiden tot een hogere geleidbaarheid van de detectie laag. Zodra dat de lege roosterplaatsen weer gevuld zijn met zuurstofmoleculen uit de omgevingslucht keert de geleidbaarheid terug naar de beginwaarde.

Om de concentratie te berekenen moet er eerst een standaardwaarde (I_0) gemeten worden, hiervoor wordt de stroomsterkte gemeten wanneer er 1V geleverd wordt, daarna wordt de eigenlijke meting gedaan (I_{gas}). I_{min} is de minor tussen I_0 en I_{gas} , dit is nodig om rekening te houden met reducerende gasen zoals NO_2 . De concentratie kan dus bepaald worden met de volgende formule:

$$C = \frac{|I_{\text{gas}} - I_0|}{I_{\text{min}}}$$

2.1.3 Algemene gaswet

CO_2 wordt gemeten in Parts Per Million (PPM). De grootte van de meetkamer in de sensor is constant en in contact met de buitenlucht. Omdat de lucht geen ideaal gasmengsel is zal de concentratie lucht moleculen in de meetkamer veranderen als de temperatuur nog druk mocht veranderen. Omdat de eigenlijke concentratie CO_2 moleculen tegen over lucht moleculen constant blijft zou een hogere concentratie lucht in de meetkamer de sensor laten denken dat er een hogere concentratie CO_2 aanwezig is dan in werkelijkheid. De sensor moet hiervoor dus compenseren door deze formule toe te passen:

$$\rho_{\text{CO}_2} = \rho_{\text{CO}_2, \text{gem}} * \frac{T_{\text{gem}} * P_{\text{ref}}}{P_{\text{gem}} * T_{\text{ref}}}$$

2.2 Luchtvochtigheidssensor

De relatieve luchtvochtigheid (\varnothing) wordt gemeten in procent (%). De relatieve luchtvochtigheid van een mengsel kan berekend worden door de verhouding van de partiële druk van waterdamp (ρ_{H_2O}) en de verzadigde dampdruk van water ($\rho_{H_2O}^*$) te nemen. Om de relatieve luchtvochtigheid te berekenen gebruik je deze formule:

$$\varnothing = \frac{\rho_{H_2O}}{\rho_{H_2O}^*} * 100$$

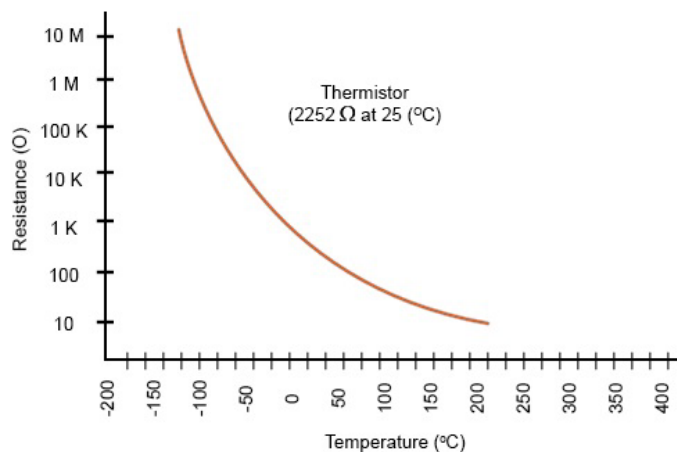
Een hoger percentage betekent dat het mengsel vochtiger is.

2.3 Temperatuursensor

Er zijn verschillende soorten temperatuursensoren met allen zijn eigen voordelen, dit zijn de vier meest voorkomende soorten.

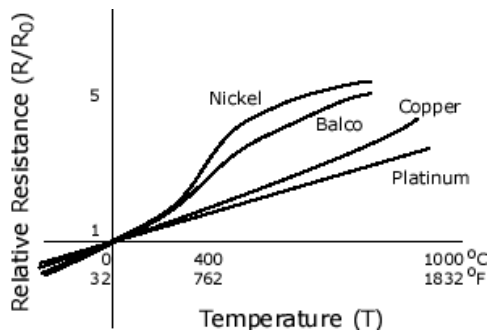
2.3.1 Negative Temperature Coefficient (NTC) thermistor

Een thermistor is een temperatuur sensitive weerstand dat een grootte en nauwkeurige verandering in weerstand heeft bij verschillende temperaturen. Een NTC thermistor heeft een zeer hoge weerstand bij lage temperaturen, deze weerstand daalt snel als de temperatuur stijgt zoals te zien in figuur 2.6. Wegens het grootte verschil in weerstand per $^{\circ}\text{C}$ kan er een zeer nauwkeurige meting gedaan worden met een afwijking van 0,05 tot $1,5^{\circ}\text{C}$. Het effectieve werkbereik in het beste geval bedraagt -50 tot 250°C .



Figuur 2.6 Voorbeeld NTC Thermistor karakteristiekcurve

2.3.2 Resistance Temperature Detector (RTD)

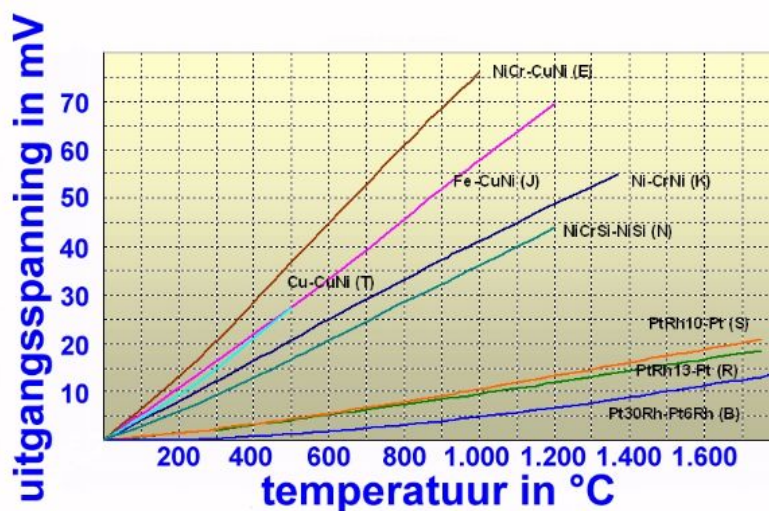


Figuur 2.7 RTD karakteristiekcurve van Nickel, Balco, Coper en Platinum

Een RTD of weerstandsthermometer meet de weerstand aan de hand dat de weerstand van verscheidene materialen afhankelijk is van de temperatuur zoals te zien op figuur 2.7. Het gebruikte materiaal in deze sensoren is op basis van metalen en halfgeleiders zoals nikkel, koper of platina. Een op platina gebaseerde RTD geeft het meest nauwkeurige resultaat met een afwijking van 0,1 tot 1°C. Het effectieve werkbereik in het beste geval bedraagt -

200 tot 600°C. Wegens de gebruikte materialen is dit type sensor een van de duurdere temperatuursensoren.

2.3.3 Thermokoppel



Figuur 2.8 Verband tussen temperatuur en Seebeck-effect voor verschillende thermokoppels

Een thermokoppel meet de temperatuur aan de hand van het Seebeck-effect. Ze bestaan uit 2 draden van elks een ander metaal of metaallegering die elks in twee punten met elkaar verbonden zijn. Er zal een potentiaalverschil ontstaan bij een temperatuurverschil tussen de twee contactpunten die we kunnen opmeten.

Een thermokoppel meet dus een temperatuurverschil tussen twee punten. De nauwkeurigheid is vrij laag met een afwijking van 0,5 tot 5°C, het effectieve meetbereik is daarentegen wel vrij groot van -200 tot 1750°C, dit is duidelijk zichtbaar op figuur 2.8.

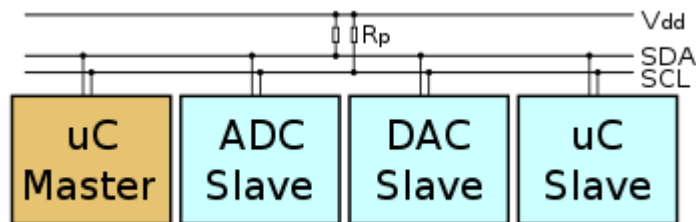
2.3.4 Halfgeleider gebaseerde sensoren

Een halfgeleider gebaseerde temperatuursensor zijn twee identieke diodes met een temperatuur sensitieve spanning op stroomsterkte karakteristieken die opgemeten kunnen worden. Dit type temperatuursensor komt vooral voor op geïntegreerde circuits (IC). De nauwkeurigheid is laag met een afwijking van 1 tot 5°C, een effectief meetbereik van -70 tot 150°C en een lange meettijd van 5 tot 60 seconden tussen elke meting.

2.4 I²C communicatieprotocol

2.4.1 Achtergrond

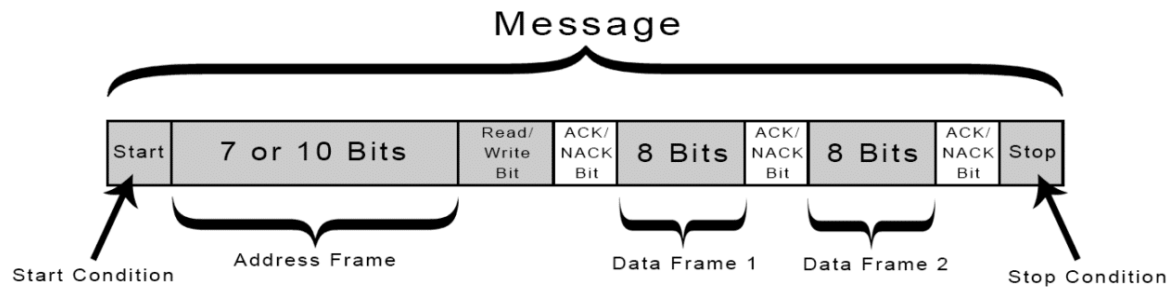
I²C, IIC of Inter IC bus is een communicatie standaard dat werkt op het master slave principe gepatenteerd door Phillips in 1992, nu door NXP. I²C wordt gebruikt om Integrated Circuits met elkaar te laten communiceren op afstanden kleiner dan één meter.



Figuur 2.9 Aansluiting van drie slave's en één master via het I²C protocol

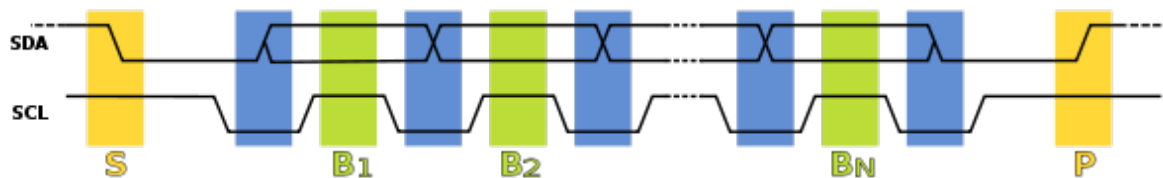
I²C is een synchroon protocol, hierdoor wordt er gebruik gemaakt van twee lijnen, de datalijn (SDA - Serial data) en de kloklijn (SCL - Serial clock) en een spanningslijn. Over de datalijn wordt de data verstuurd, de kloklijn regelt wanneer er data verzonden mag worden, de kloklijn wordt alleen door de master gegenereerd. De data- en kloklijn werken op het 'open drain' principe en moeten via een pull up weerstand verbonden worden met de spanningslijn zoals te zien op figuur 2.9. Elke slave heeft een uniek zeven bit adres, hiermee kan de master afzonderlijk communiceren met een slave.

2.4.2 Werking



Figuur 2.10 Werking I2C bericht, in dit geval worden er twee data bits verstuurd

Er wordt via het I₂C protocol gecommuniceerd via berichten, deze berichten zijn weer onderverdeelt in kleinere pakketjes met data. Zoals te zien op figuur 2.10 heeft elk bericht een pakketje met het adres van de slave en minstens één datapakket, daarnaast zijn er ook nog start- en stop bits, read/write bits en ACK/NACK bits.



Figuur 2.11 Impulsdiagram I2C protocol

In normale gevallen zijn de SDA- en SCL-lijn hoog. De start bit (S op figuur 2.11) verandert de SDA-lijn van een hoge spanning naar een lage spanning, dit moet altijd gebeuren voor de SCL-lijn van hoog naar laag verandert. De SCL-lijn verandert na elk pakket van hoog naar laag als scheiding tussen de verschillende pakketjes. Hierna volgt het adres- en een lees (laag) of schrijf (hoog) bit (B_1), de verbonden slave's controleren of het adres klopt met hun eigen adres, zo ja stuurt deze slave een ACK bit naar de zender door de SDA-lijn laag te zetten, zo nee blijft de SDA-lijn hoog, dit is een NACK bit. De volgende pakketjes (B_2 tot B_n) zijn elks acht bits gevuld met de data tot de master een stop bit (P) geeft door de SDA-lijn van laag naar hoog te zetten.

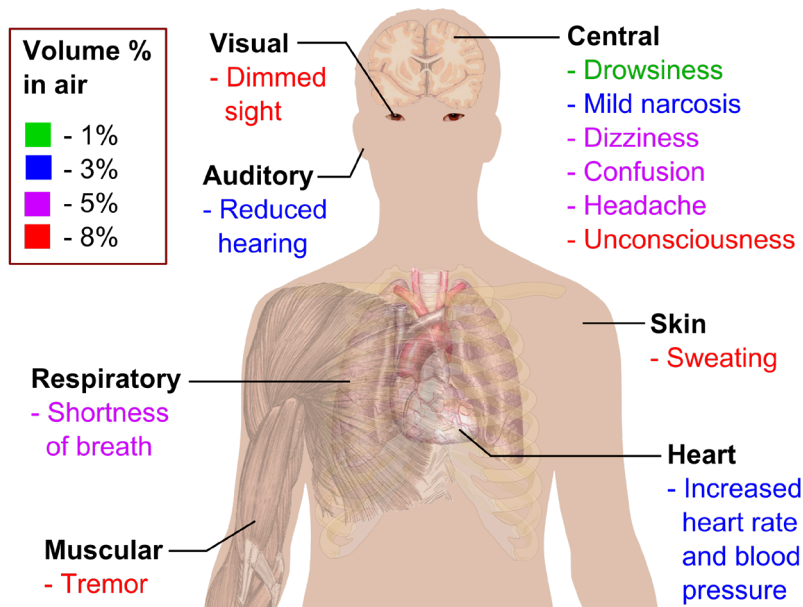
2.5 Veilige CO₂ waarden

Het CO₂ gehalte in de lucht op zeeniveau ligt tussen 0,036% (360PPM) en 0,041% (410PPM) afhankelijk van de locatie. CO₂ op zich is geen schadelijk of toxisch gas volgens de GHS-standaard en wordt geclassificeerd als een verstikkend gas. De MIC-waarde van CO₂ bedraagt 0,3% (3000PPM), de MAC-waarde bedraagt 0,5% (5000PPM).

2.5.1 Toetsingskader CO₂ België

Het toetsingskader van de aanvaarde CO₂ concentratie binnen een ruimte in België geeft de luchtkwaliteit weer wat CO₂ betreft. De CO₂ concentratie wordt in Parts Per Million of PPM weergegeven. De luchtkwaliteit is hoog als de CO₂ concentratie lager dan 800PPM bedraagt, gemiddeld als het tussen de 800 en 1000PPM bedraagt, aanvaardbaar als het tussen de 1000 en 1400PPM bedraagt en laag als de CO₂ concentratie hoger als 1400PPM bedraagt.

2.5.2 Effecten CO₂ op lichaam



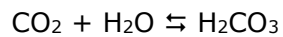
Figuur 2.12 Effecten CO₂ op lichaam bij verschillende concentraties

De negatieve effecten van CO₂ op het menselijk lichaam zoals te zien in figuur 2.12 treden op vanaf een CO₂ concentratie van 1% (10 000PPM) in de lucht. Bij deze concentratie begint er duizeligheid te vormen en sufheid bij langere blootstelling. Bij 1,5% (15 000PPM) neemt de ademhaling in snelheid en diepte toe. Er treedt een vermindering van het gehoor, een licht narcotisch effect, een verhoging van het hartritme en een hogere bloeddruk op bij een concentratie van 2 tot 3% (20 000 tot 30 000PPM).

Een concentratie van 4 tot 5% (40 000 tot 50 000PPM) veroorzaakt bij lange blootstelling verwarring en een gevoel van ademen met uiteindelijk het verlies van bewustzijn. Vanaf een concentratie van 5% (50 000PPM) kunnen er ook paniekaanvallen voorkomen wegens de invloed dat CO₂ op de amygdala heeft. Een concentratie van 7 tot 10% (70 000PPM tot 100 000PPM) kunnen er effecten van verstikking optreden zoals duizeligheid, koppijn, afnemend gehoor en gezichtsvermogen, gevolgd door het verlies van bewustzijn bij een blootstelling tussen enkele minuten tot één uur. De dood kan al na een 30 minuten tot één uur optreden, zelfs bij een voldoende aan zuurstof in de lucht.

Bij een concentratie van 20% en hoger (+200 000PPM) treedt het verliezen van het bewustzijn al op na enkele keren inademen, kort daarna treedt er ademstilstand op. Na enkele minuten blootstelling treedt er de dood op.

Andere effecten zijn het verzuren van het bloed dat in normale omstandigheden een pH tussen 7,35 en 7,45 ligt, naarmate de concentratie aan CO₂ stijgt. Dit is te linken aan het zuur H₂CO₃, het hogere CO₂ concentratie doet het evenwicht verschuiven.



Hierdoor zal er meer H₂CO₃ in het bloed gevormd worden, wat daarna uiteenvalt in 2H⁺ en CO₃²⁻ ionen. Deze H⁺ ionen doen de pH van het bloed dalen en creëren dus een zuurder medium.

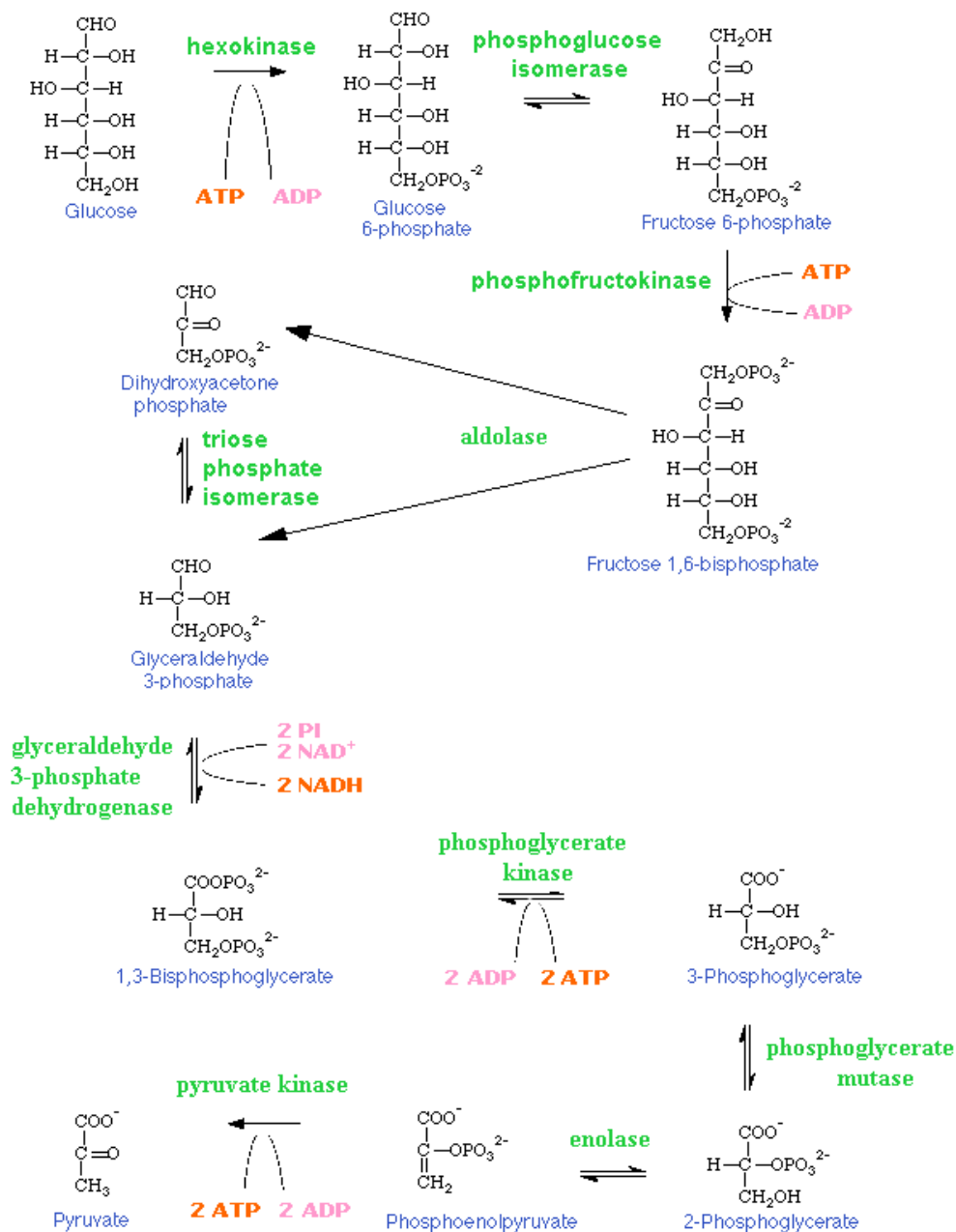


Een pH kleiner dan 7,35 wordt voor het bloed als zuur gezien, dit verstoort de werking van enzymen.

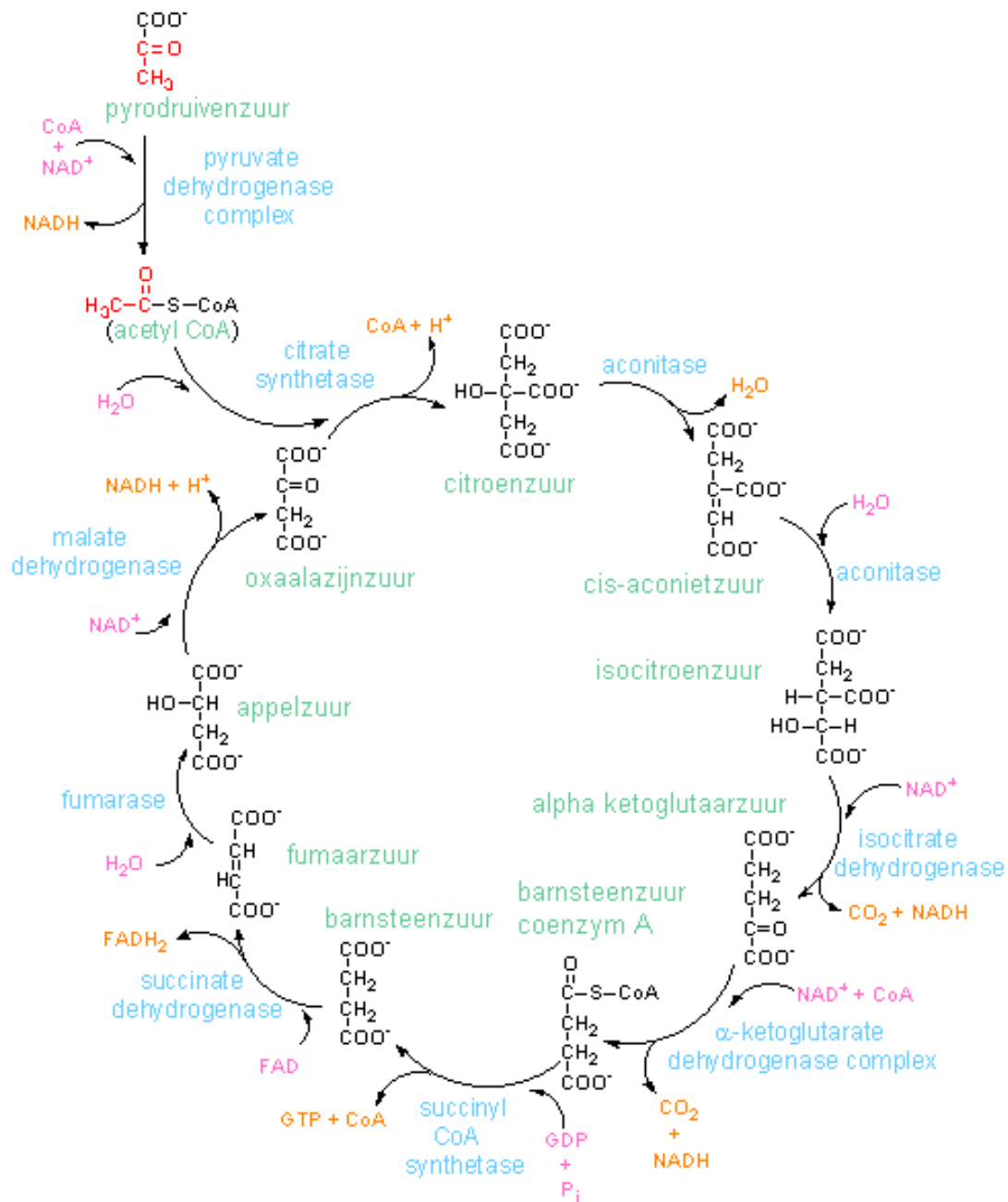
2.6 CO₂ productie mens

Een mens produceert gemiddeld 1,0kg aan CO₂ per dag door aan aerobe celademhaling te doen, de globale reactievergelijking van aerobe celademhaling is: $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + H_2O + \text{energie}$

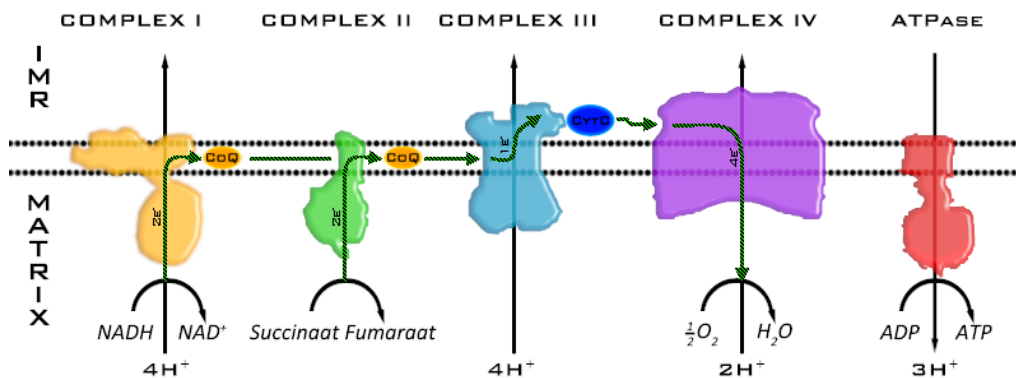
De aerobe celademhaling wordt in drie stadia uitgevoerd, eerst vind de glycolyse plaats, gevolgd door de citroenzuurcyclus en ten laatste de eindoxidatie. Deze stadia zijn zichtbaar in figuur 2.13, 2.14 en 2.15.



Figuur 2.13 Glycolyse



Figuur 2.14 Citroenzuurcyclus/ Krebscyclus/ Tricarbonzuurcyclus (TCA-cyclus)



Figuur 2.15 Eindoxidatie

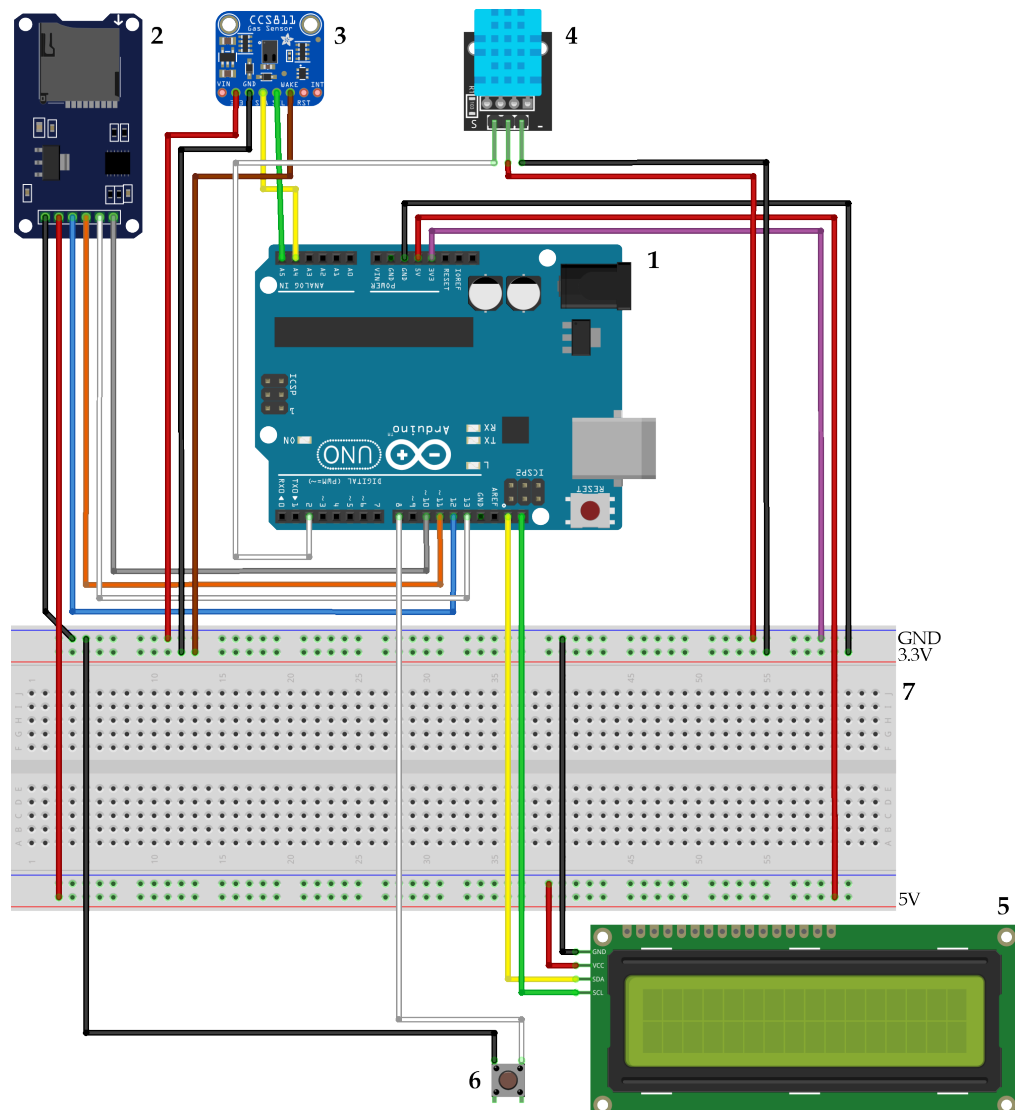
3 Praktische proef

De praktische proef houdt in het ontwerpen en bouwen van een meettoestel dat de concentratie aan CO₂ in de lucht meet, gevolgd door metingen in verschillende situaties.

3.1 Proefopstelling

3.1.1 Meettoestel

3.1.1.1 Schakelschema



Figuur 3.1 Schakelschema: 1. Arduino Uno R3, 2. SD-kaart module, 3. CCS811 eCO₂ sensor (I₂C), 4. DHT11 Temp&Vocht sensor, 5. 2x16 LCD (I₂C), 6. Knop, 7. Breadboard

3.1.1.2 Componenten

Een Arduino UNO R3 wordt als controller gebruikt, voor de CO₂ sensor wordt gebruik gemaakt van de CCS811, dit is een chemische eCO₂ sensor met een meetbereik van 400 tot 8192PPM. De CCS811 wordt beïnvloed door de temperatuur en vochtigheidsgraad van de lucht, om dit te compenseren wordt er gebruik gemaakt van de DHT11. De DHT11 meet zowel de temperatuur als de vochtigheidsgraad van de lucht. Om alle data op te slaan wordt een SD-kaart module gebruikt met een microSD kaart van 4GB.

De gegevens worden via Excel verwerkt tot een CO₂- en TVOC-concentratie grafiek en een temperatuur en vochtigheidsgraad grafiek.

3.1.1.3 Code

De code valt onderverdeelt te worden in vier onderdelen: voorbereiding, de componenten starten, meten en opslaan.

Als eerste vindt de voorbereiding plaats, hier kan je de instellingen van de componenten wijzigen en worden de gebruikte libraries opgevraagd.

```
//-----Setup Timing-----
long previousMillisButton = 0;    // will store last time button was updated
long previousMillisSensor = 0;    // will store last time sensor was updated

long timer = 0;
int delaytime = 2000; // Delay between readings 1s = 1000ms
unsigned long currentMillis; // Unsigned long won't store negative values

//-----Setup Button-----
const byte buttonPin = 8;
int buttonState = 0;    // current state of the button
bool lastButtonState = false; // previous state of the button

//-----Setup SD Card Module-----
// Include SD Card libraries
#include <SD.h>
#include <SPI.h>

// Setup SD Card
File SDcard;
const byte pinCS = 10; // Pin 10 on Arduino Uno

//-----Setup DHT11 sensor-----
// Include DHT11 libraries
#include <DHT.h>
```

```
// Setup DHT11
#define DHTPIN 2    // what digital pin we're connected to
#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11

// Initialize DHT sensor.
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

//-----Setup CCS881 sensor-----
// Include CCS881 libraries
#include <Wire.h>    // I2C library
#include "Adafruit_CCS811.h" // CCS811 library

// Setup CCS881
Adafruit_CCS811 ccs;
int co2;
int tvoc;

//-----Setup LCD Screen (I2C protocol)-----
// Include LCD libraries
// #include <Wire.h>    // I2C library
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

// Setup LCD
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);
```

Bij de void setup worden de componenten opgestart. Hier vindt ook de controle van alle componenten plaats en bij een eventuele fout wordt het programma vroegtijdig gestopt en de fout op het LCD-scherm weergegeven.

```
void setup() {
  //Temporary stuff
  pinMode(buttonPin, INPUT_PULLUP);

  // Setup Serial monitor 9600 baud
  Serial.begin(9600);
  Serial.println(F("Beginning Checkup..."));

  // Start LCD Display
  lcd.begin(16,2); // Set LCD Type 16x2
  lcd.clear();    // Clears LCD display

  // SD Card Initialization
  if (SD.begin()) {
    Serial.println(F("SD card is ready to use."));
    lcd.print(F("SD Card Ready"));
    delay(2000);
  }
  else {
    Serial.println(F("SD card initialization failed"));
    lcd.print(F("SD Card Failed"));
    lcd.setCursor(0,1); // Second line
    lcd.print(F("Check wiring!"));
    delay(2000);
  }

  //-----Start SD Card-----
  SDcard = SD.open("results.txt", FILE_WRITE);
  // if the file opened okay, write to it:
  if (SDcard) {
    Serial.println(F("Writing to file results.txt"));
    lcd.clear();    // Clears LCD display
    lcd.setCursor(0,0); // First line
    lcd.print(F("Now opening"));
    lcd.setCursor(0,1); // Second line
    lcd.print(F("results.txt"));
    SDcard.println(); // Linebreak between different Experiments
    SDcard.println(F("Beginning;New;Experiment"));
    SDcard.println(F("Timer;Humidity (%);Temperature (°C);CO2 (PPM);TVOC (PPB)"));
    SDcard.close(); // close the file
    delay(2000);
  }
}
```

```
// if the file didn't open, print an error:
else {
  Serial.println(F("Error opening results.txt"));
  lcd.clear();          // Clears LCD display
  lcd.setCursor(0,0);   // First line
  lcd.print(F("Error opening"));
  lcd.setCursor(0,1);   // Second line
  lcd.print(F("results.txt"));
  delay(2000);
}

//-----Start DHT11 Sensor-----
dht.begin();

//-----Start CCS881 Sensor-----
ccs.begin();
ccs.setDriveMode(CCS811_DRIVE_MODE_1SEC);
//calibrate temperature sensor
while(!ccs.available());
float temp = ccs.calculateTemperature();
ccs.setTempOffset(temp - 25.0);
//-----Print starting message on LCD screen-----
lcd.clear();          // Clears LCD display
lcd.setCursor(0,0);   // First line
lcd.print(F("Start measuring:"));
lcd.setCursor(0,1);   // Second line
lcd.print(F("H, T, CO2, TVOC"));
}
```

In de void loop worden er twee programma's opgestart, button en sensor. Deze moeten gelijktijdig draaien om vertraging in beide programma's tegen te gaan.

```
void loop() {
  currentMillis = millis(); // Replacement for delay()
  Button();
  Sensor();
}
```

Void Button is het programma dat instaat voor het bedienen van de knop die het LCD-scherm uit- of aanzet. Dit wordt gedaan zodat men bij metingen over een langere tijdsperiode het LCD-scherm kan uitschakelen om zo energie te besparen.

```
void Button() {
  // read the pushbutton input pin:
  if(currentMillis - previousMillisButton > 250) {
    // save the last time the program has run
    previousMillisButton = currentMillis;

    buttonState = digitalRead(buttonPin);

    if (buttonState == LOW) {
      if (lastButtonState == false) {
        lastButtonState = true;
        lcd.setBacklight (LOW); // turn off backlight
      }
    }
    else {
      lastButtonState = false;
      lcd.setBacklight (HIGH); // turn on backlight
    }
  }
}
```


Void Sensor is het programma dat instaat voor het bedienen van de sensoren en de SD-kaart module. Hier vindt de eigenlijke metingen plaats. Eerst wordt via de DHT11 de vochtigheidsgraad en temperatuur opgemeten, deze worden vervolgens doorgestuurd naar de CCS881 CO₂ sensor. De CCS881 meet vervolgens de CO₂- en TVOC-concentratie. De timer wordt vervolgens met twee seconden vermeerderd. Deze waarden worden live op het LCD-scherm weergegeven en worden als laatste stap opgeslagen op een microSD kaart.

```
void Sensor() {
//-----DHT11 Readings-----
if(currentMillis - previousMillisSensor > delaytime) {
  // save the last time the program has run
  previousMillisSensor = currentMillis;

  int h = dht.readHumidity();
  // Read temperature as Celsius (the default)
  int t = dht.readTemperature();

  // Check if any reads failed and exit early (to try again).
  if (isnan(h) || isnan(t)) {
    Serial.println(F("Failed to read from DHT sensor!"));
    return;
  }

//-----DHT11 To CCS881-----
  ccs.setEnvironmentalData(h, t);

//-----CCS881 Readings-----
  if(ccs.available()){
    if(!ccs.readData()){
      co2 = ccs.geteCO2();
      tvoc = ccs.getTVOC();
    }
    else{
      Serial.println(F("ERROR"));
    }
  }

//-----Time Calculation-----
  timer = timer + 2;
}
```

```
//-----LCD Display-----
  lcd.clear();          // Clears LCD display
  lcd.setCursor(0,0);   // First line

  lcd.print(F("H: ")); lcd.print(h); lcd.print(F("%"));    // Print Humidity in %
  lcd.print(F("  "));   // Space (4 blocks)
  lcd.print(F("T: ")); lcd.print(t); lcd.print(F("C"));    // Print Temperature in °C

  lcd.setCursor(0,1);   // Second line
  lcd.print(F("CO2:")); lcd.print(co2); lcd.print(F("PPM")); // Print CO2 in PPM
  lcd.print(F(" "));    // Space (1 block)
  lcd.print(F("t:")); lcd.print(timer); lcd.print(F("s"));  // Print timer count

//-----SD Card-----
  SDcard = SD.open("results.txt", FILE_WRITE); // Open the file in write mode
  SDcard.print(timer); SDcard.print(F(";"));    // Write timer
  SDcard.print(h); SDcard.print(F(";"));        // Write Humidity
  SDcard.print(t); SDcard.print(F(";"));        // Write Temperature
  SDcard.print(co2); SDcard.print(F(";"));      // Write CO2
  SDcard.print(tvoc);                          // Write TVOC
  SDcard.println(); // New line
  SDcard.close(); // close the file
}
}
```

3.1.2 Plaatsing meettoestel

Het meettoestel wordt bij voorkeur in het midden van de te meten groep geplaatst. Mocht dit door omstandigheden niet mogelijk zijn plaats je het meettoestel zo dicht mogelijk bij dit punt. Het is belangrijk dat je het meettoestel bij elke meting op dezelfde plek plaatst, dit verlaagt het aantal factoren die invloed kunnen hebben op de verschillende metingen.

3.2 Hypothese

3.2.1 Invloed volume

Het verschil in de CO₂ concentratie tussen de metingen zou lager zijn bij een stijging van het volume van een ruimte.

3.2.2 Invloed aantal personen

Het verschil in de CO₂ concentratie tussen de metingen zou hoger zijn bij een stijging in het aantal personen in een gegeven ruimte.

3.2.3 Invloed verluchten

Het verschil in de CO₂ concentratie tussen de metingen zou lager zijn naarmate de duur van het verluchten toeneemt

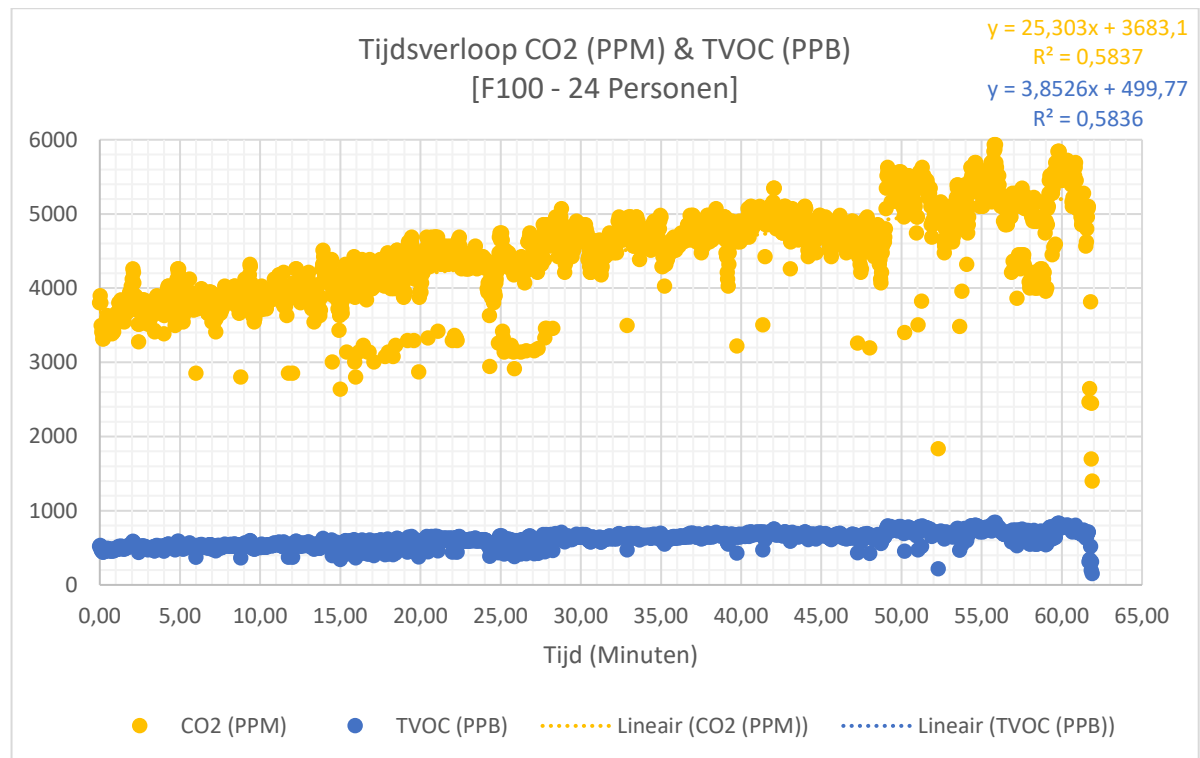
3.3 Principe

We meten met een CO₂ sensor de concentratie aan CO₂ in de lucht in een bepaald lokaal. Deze gegevens worden verwerkt via Excel en in een grafiek gegoten, hier wordt een lineaire trendlijn aan toegevoegd met een $y = ax + b$ vergelijking waarbij y de CO₂ concentratie is, x is de tijd, a is de richtingscoëfficiënt en geeft aan hoe snel de concentratie aan CO₂ verandert en b is de startconcentratie aan CO₂ aanwezig in de lucht.

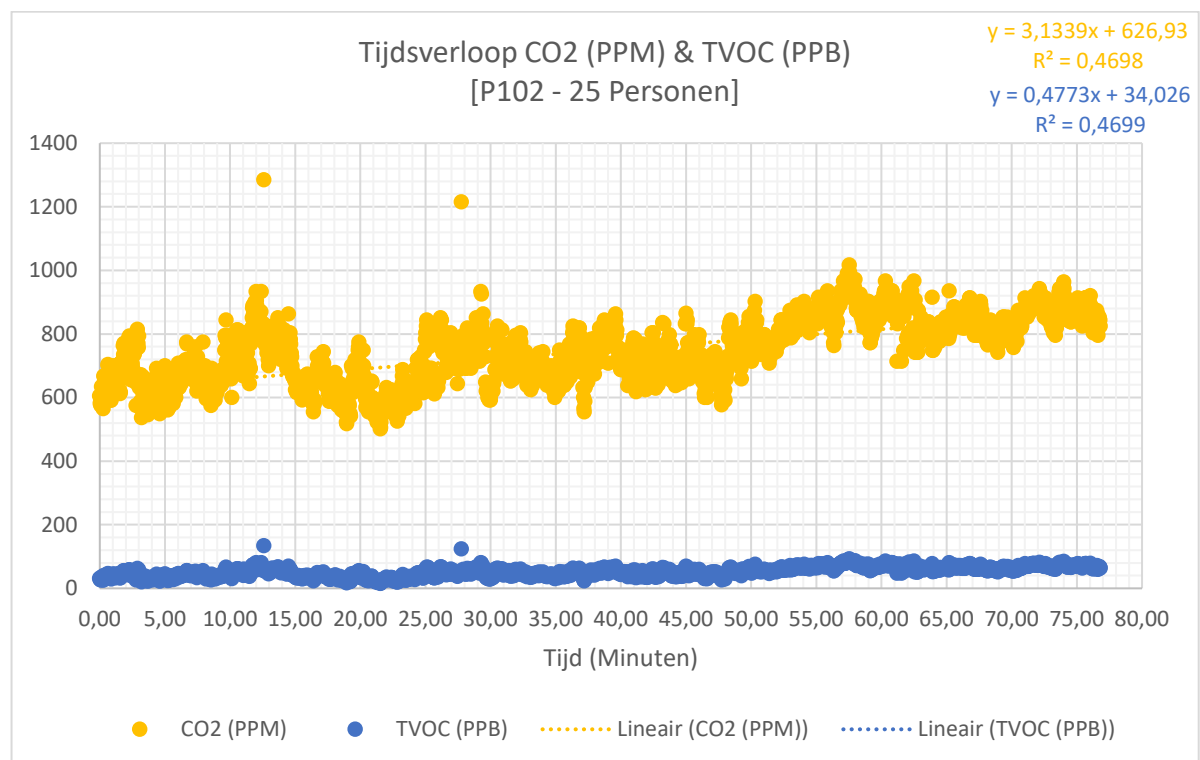
Aan de hand van de richtingscoëfficiënt kunnen we de veranderingssnelheid van de CO₂ concentratie afleiden en vergelijken met elkaar. Een positieve richtingscoëfficiënt geeft een stijging aan CO₂ in de lucht weer terwijl een negatieve richtingscoëfficiënt een daling aan CO₂ in de lucht weergeeft.

3.4 Meetresultaten

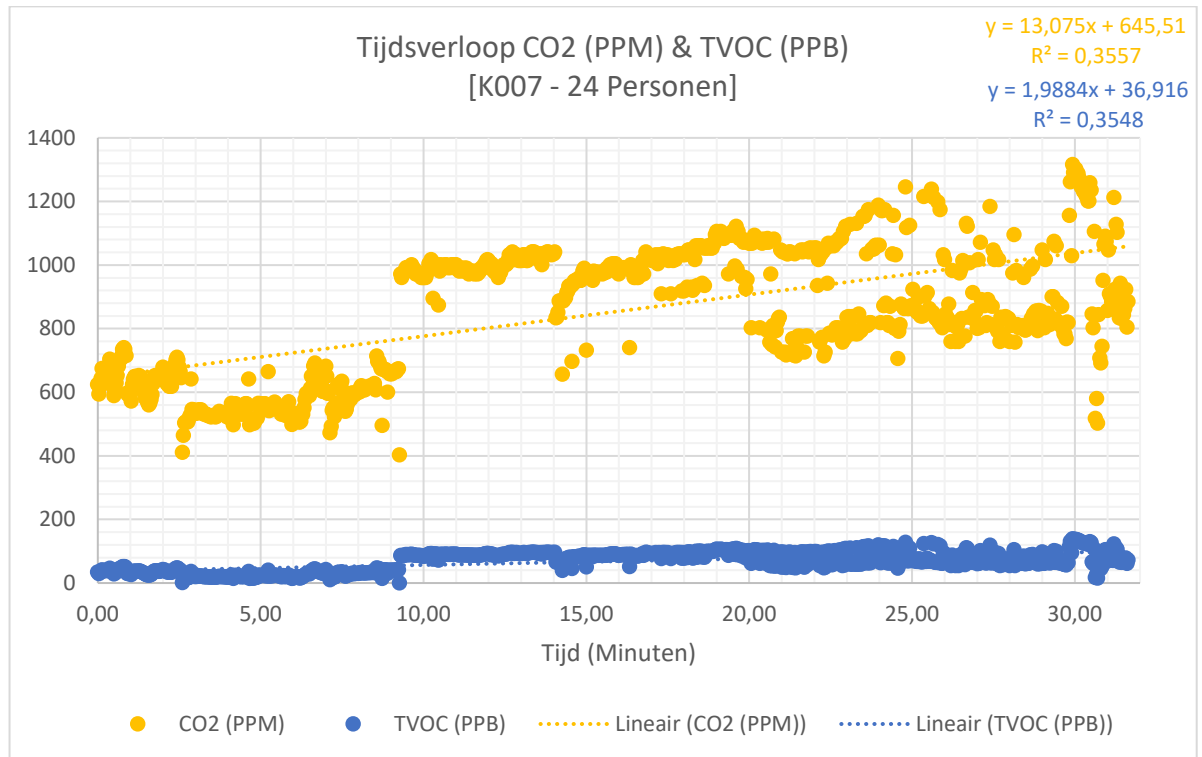
3.4.1 Tijdsverloop CO₂- en TVOC-concentratie



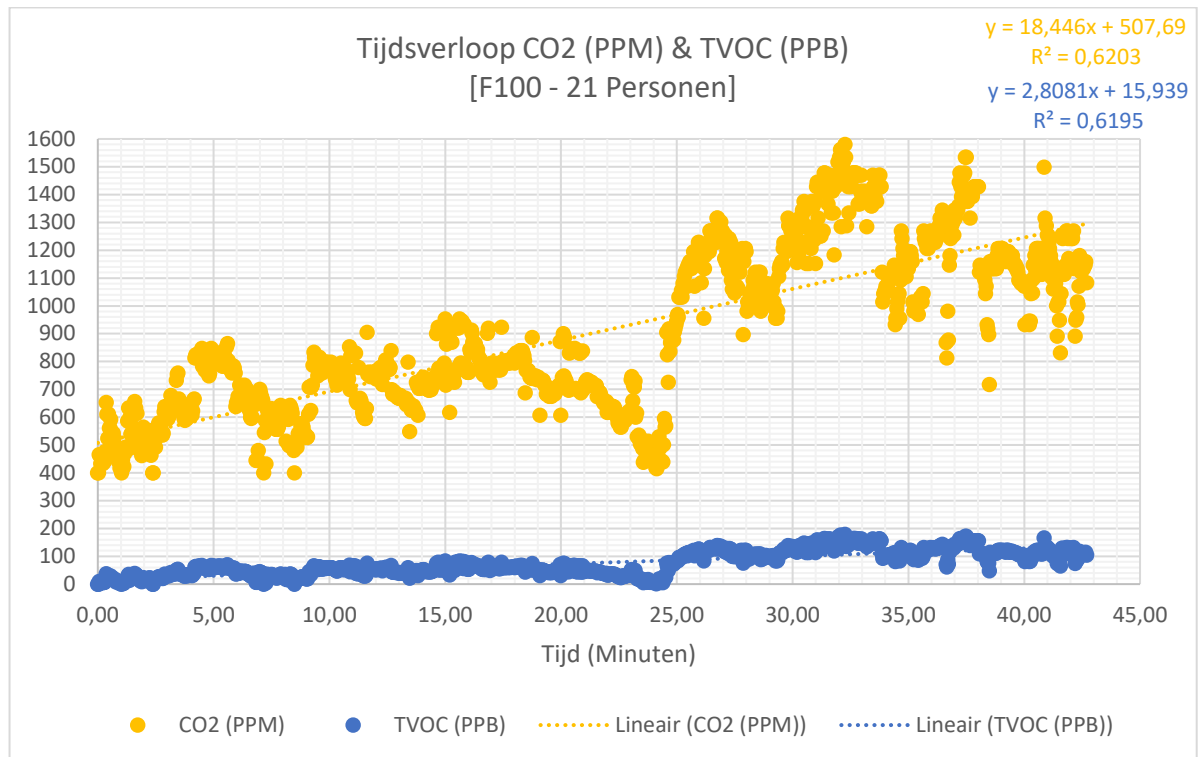
Grafiek 3.1 Tijdsverloop CO₂ (PPM) & TVOC (PPB) in lokaal F100 met 24 personen, ramen gesloten.



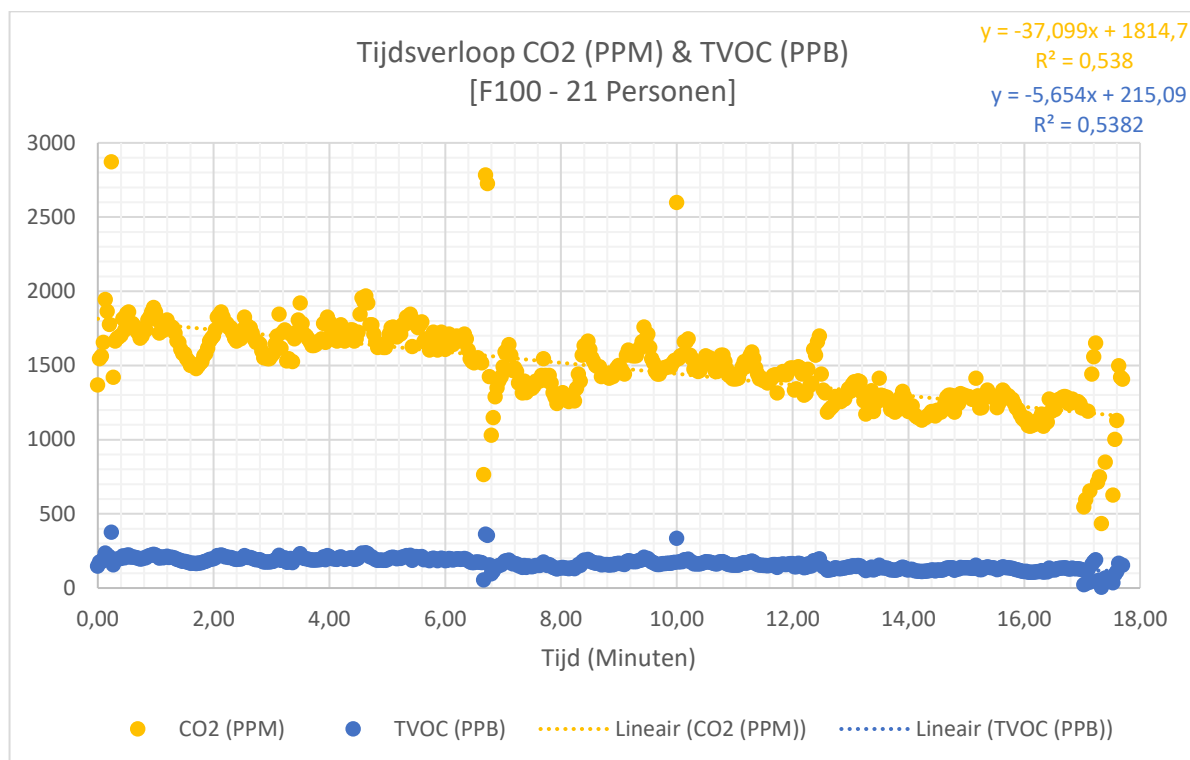
Grafiek 3.2 Tijdsverloop CO₂ (PPM) & TVOC (PPB) in lokaal P102 met 25 personen, ramen open.



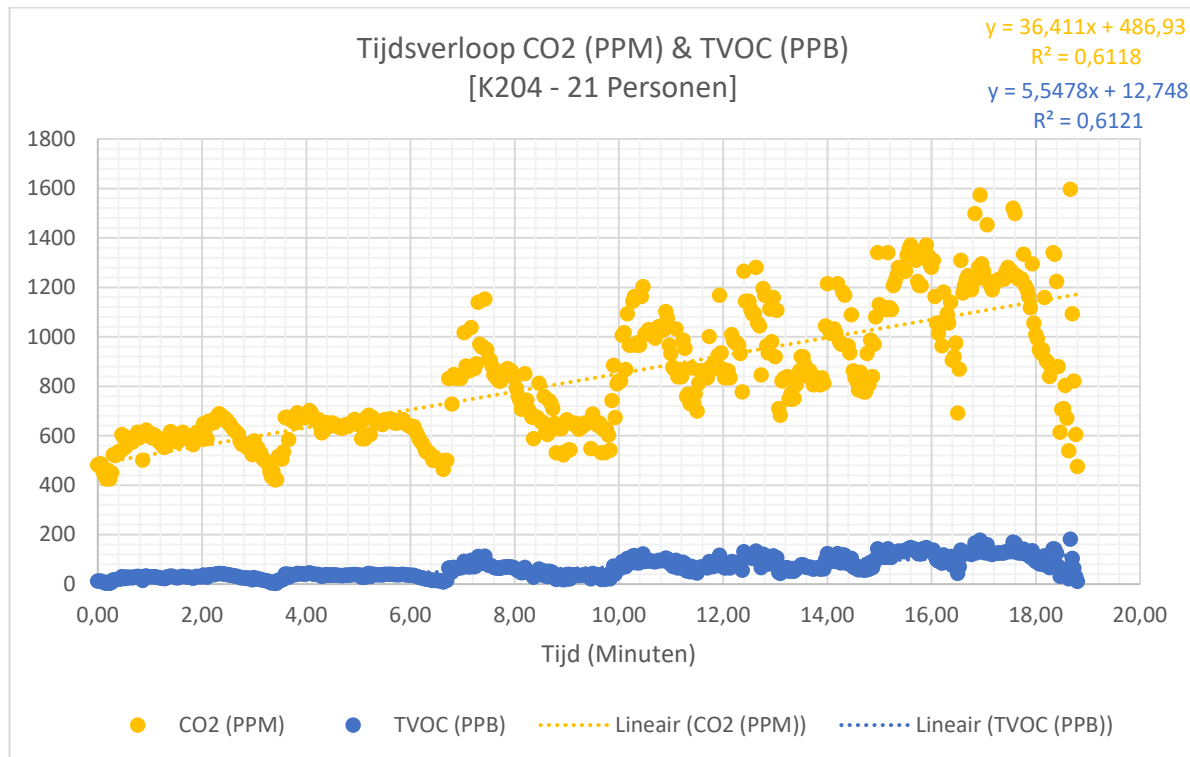
Grafiek 3.3 Tijdsverloop CO2 (PPM) & TVOC (PPB) in lokaal K007 met 24 personen, ramen gesloten.



Grafiek 3.4 Tijdsverloop CO2 (PPM) & TVOC (PPB) in lokaal F100 met 21 personen, ramen gesloten.

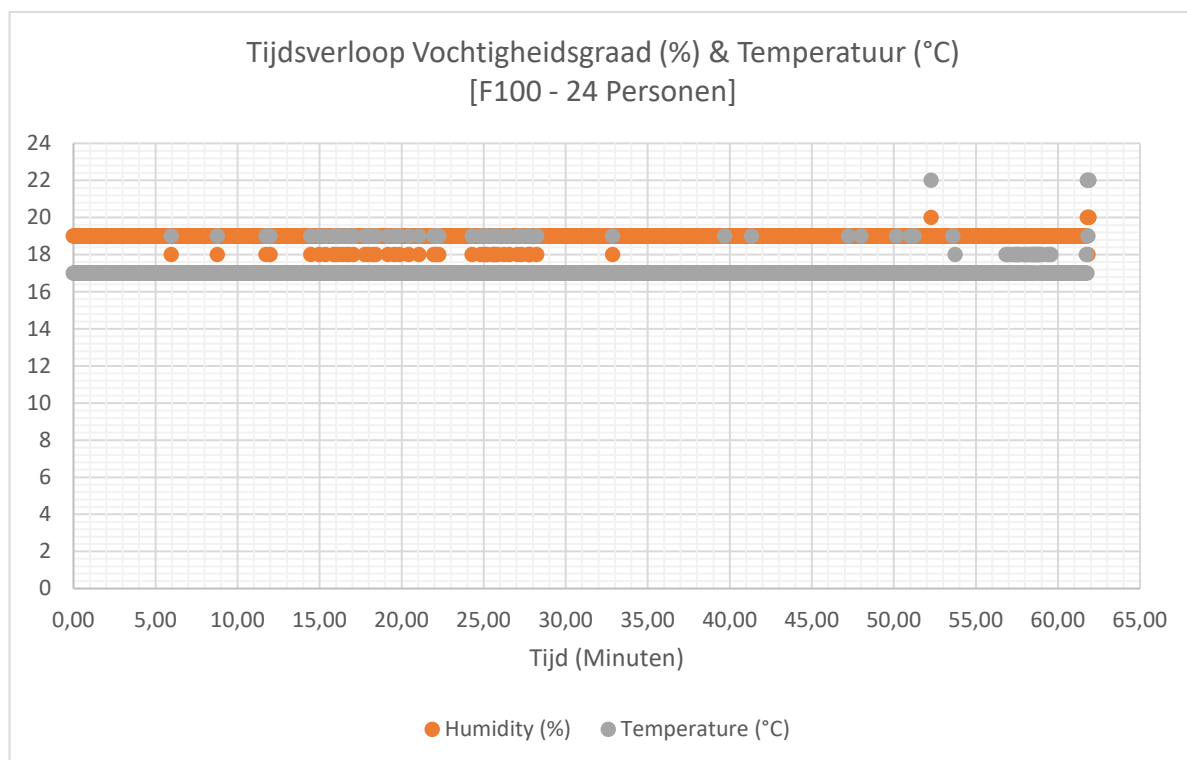


Grafiek 3.5 Tijdsverloop CO2 (PPM) & TVOC (PPB) in lokaal F100 met 21 personen, ramen open.

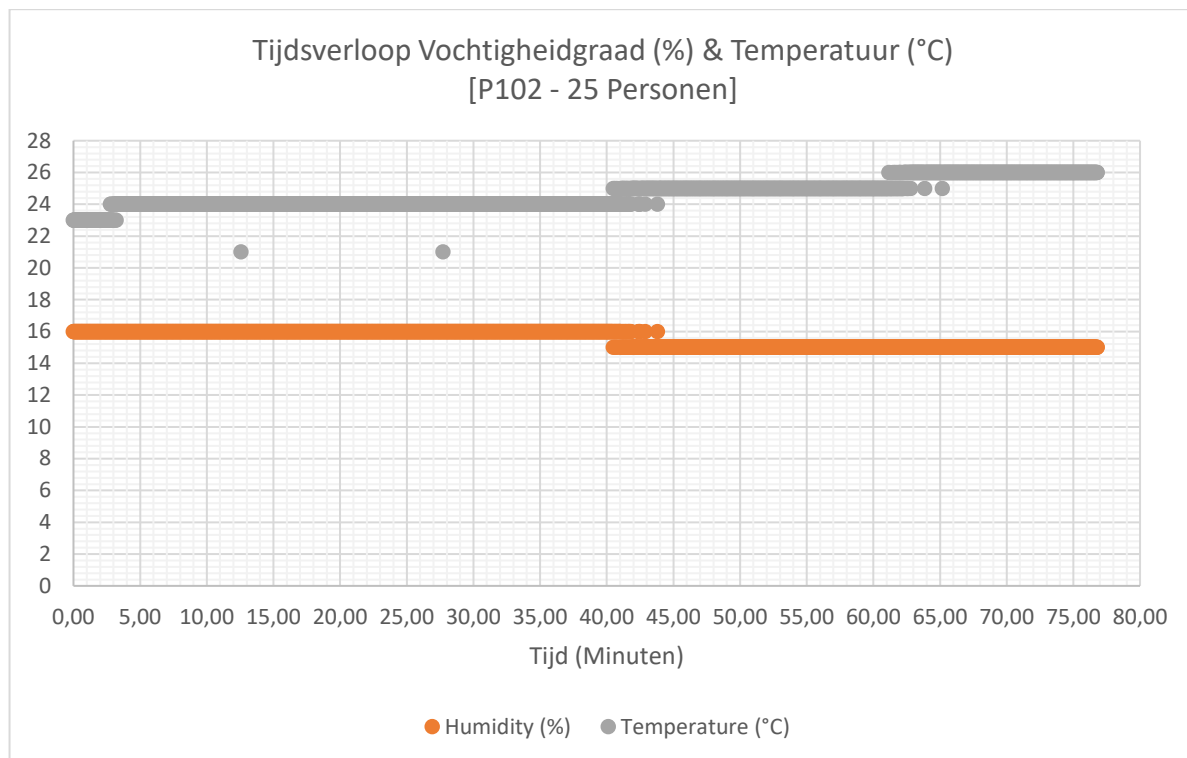


Grafiek 3.6 Tijdsverloop CO2 (PPM) & TVOC (PPB) in lokaal K204 met 21 personen, ramen gesloten.

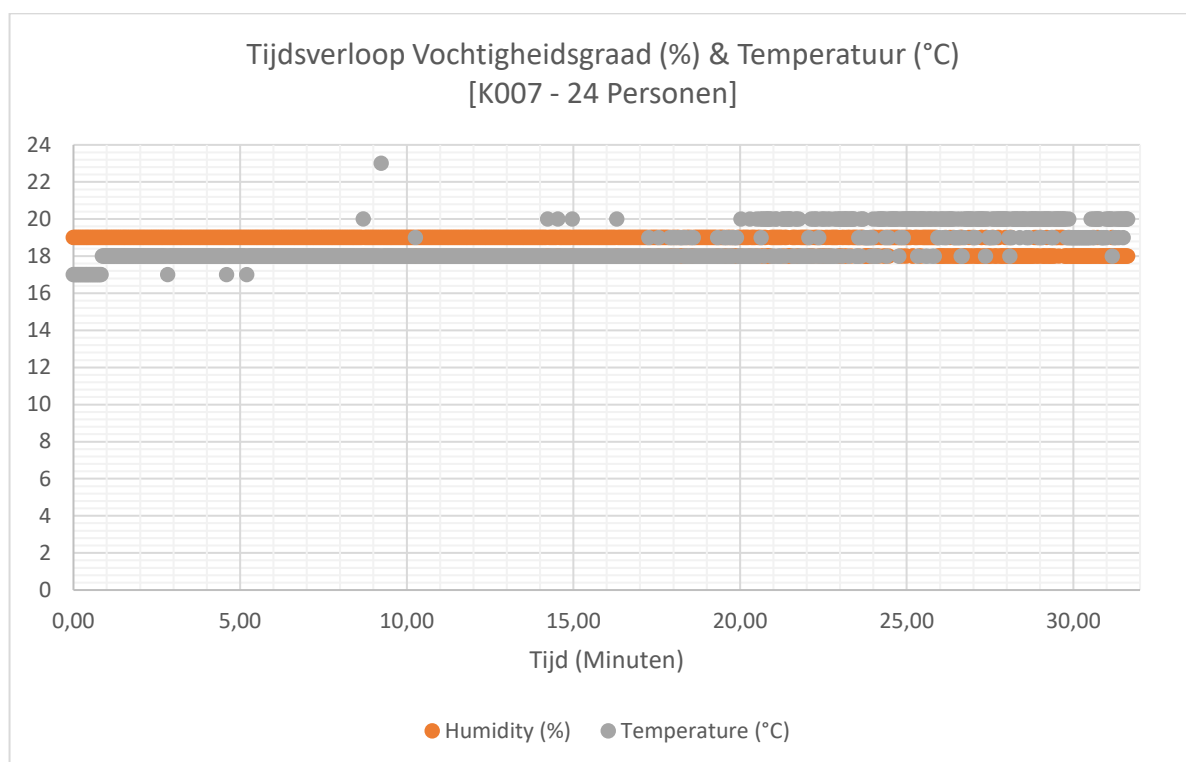
3.4.2 Tijdsverloop vochtigheidsgraad en temperatuur



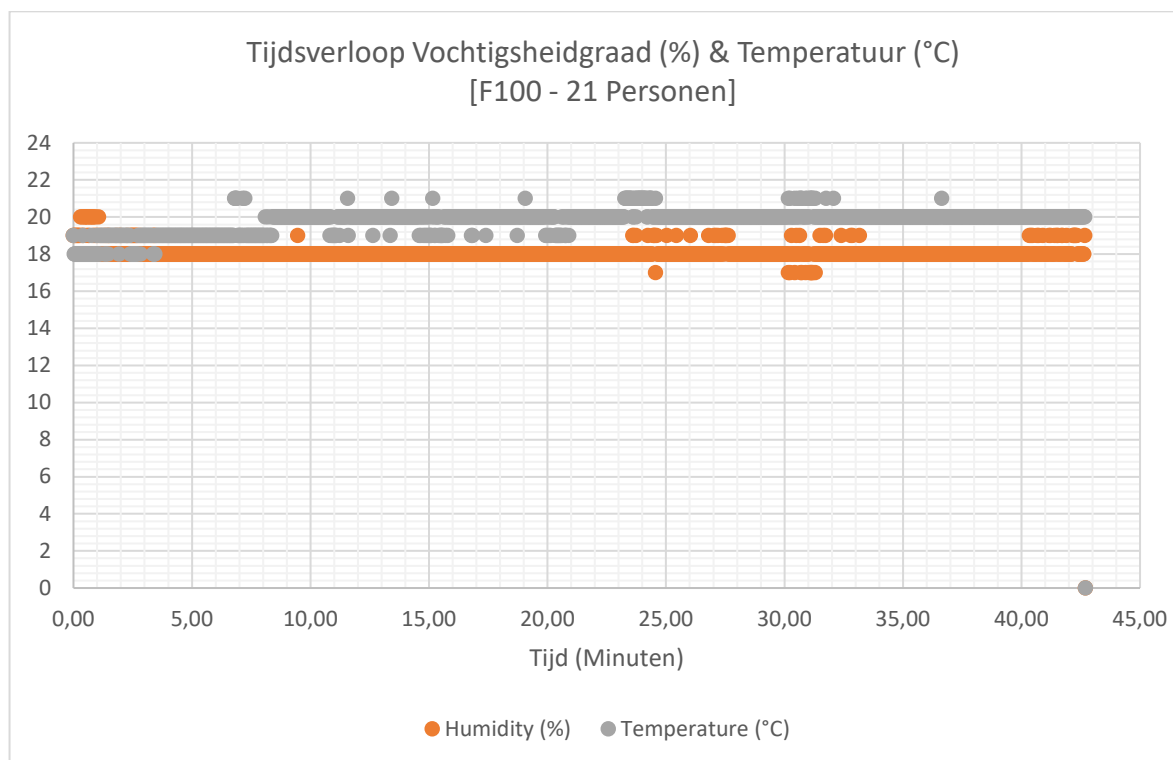
Grafiek 3.7 Tijdsverloop vochtigheidsgraad (%) & temperatuur (°C) in lokaal F100 met 24 personen, ramen gesloten.



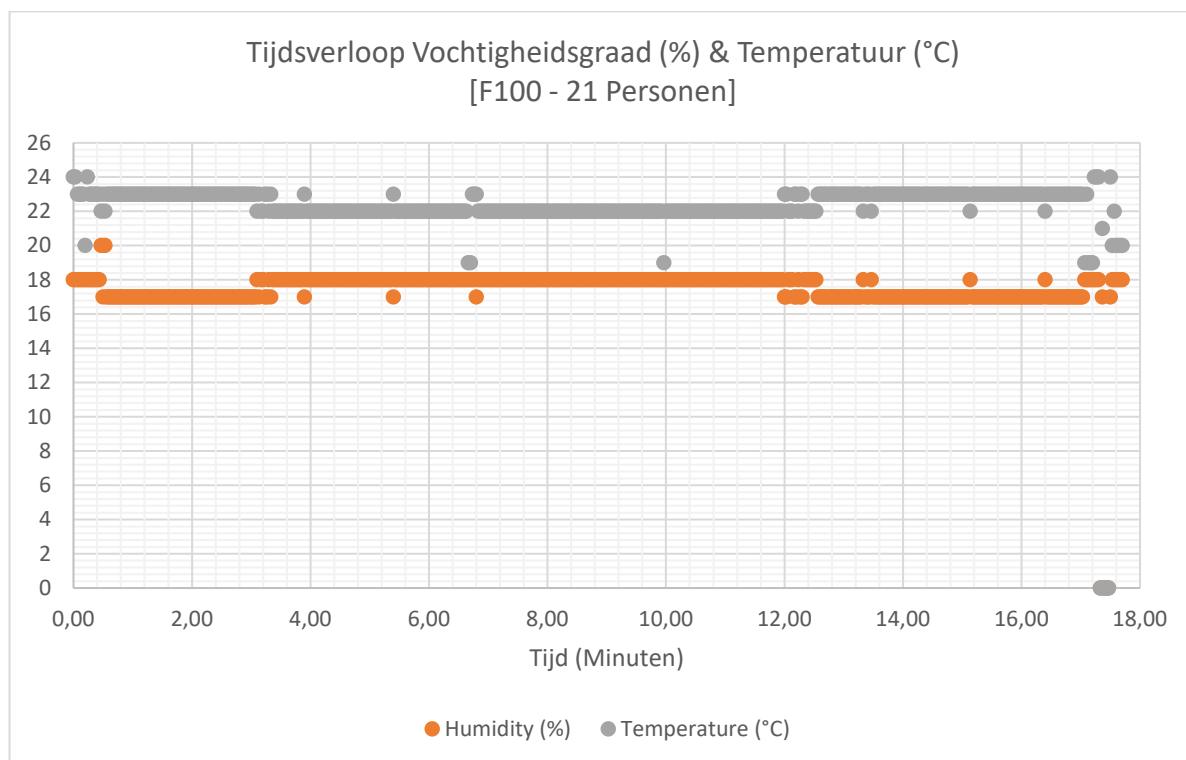
Grafiek 3.8 Tijdsverloop vochtigheidsgraad (%) & temperatuur (°C) in lokaal P102 met 25 personen, ramen open.



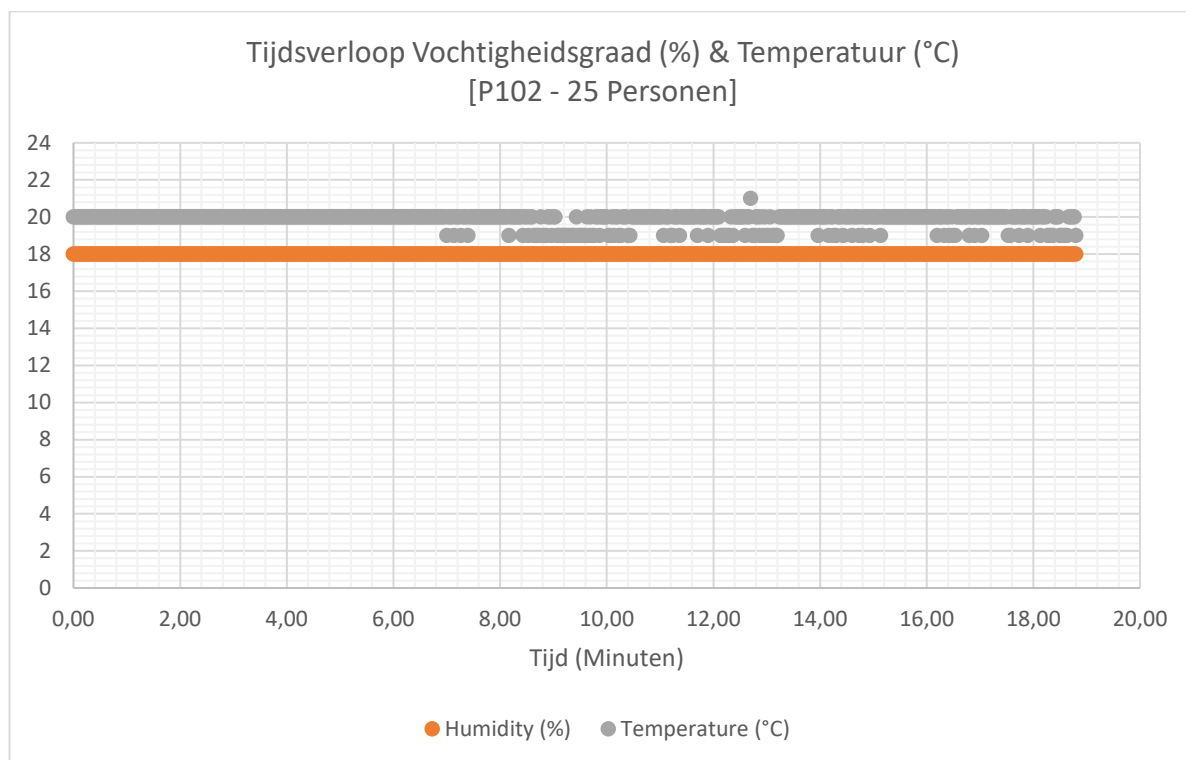
Grafiek 3.9 Tijdsverloop vochtigheidsgraad (%) & temperatuur (°C) in lokaal K007 met 24 personen, ramen gesloten.



Grafiek 3.10 Tijdsverloop vochtigheidsgraad (%) & temperatuur (°C) in lokaal F100 met 21 personen, ramen gesloten.



Grafiek 3.11 Tijdsverloop vochtigheidsgraad (%) & temperatuur (°C) in lokaal F100 met 21 personen, ramen open.



Grafiek 3.12 Tijdsverloop vochtigheidsgraad (%) & temperatuur (°C) in lokaal P102 met 25 personen, ramen gesloten.

3.5 Berekeningen

Tabel 3.1 Samenvatting resultaten CO₂-concentratie, gesorteerd op toenemend richtingscoëfficiënt

Lokaal	Volume	# personen	Status ramen	CO ₂ -productie (PPM/minuut)
F100	Groot	21	Open	-37,099
P102	Groot	25	Open	3,1339
K007	Klein	24	Gesloten	13,075
F100	Groot	21	Gesloten	18,446
F100	Groot	24	Gesloten	25,303
K204	Klein	21	Gesloten	36,411

3.5.1 Invloed volume

3.5.1.1 Groot volume

$$Gem_{groot} = \frac{18,446 + 25,303}{2}$$

$$Gem_{groot} = 21,8745 \text{ PPM/minuut}$$

3.5.1.2 Klein volume

$$Gem_{klein} = \frac{13,075 + 36,411}{2}$$

$$Gem_{klein} = 24,7430 \text{ PPM/minuut}$$

3.5.2 Invloed aantal personen

3.5.2.1 21 personen

$$21 \text{ personen (F100)} = 18,446 \text{ PPM/minuut}$$

3.5.2.2 24 personen

$$24 \text{ personen (F100)} = 25,303 \text{ PPM/minuut}$$

3.5.3 Invloed verluchten

3.5.3.1 Geen verluchting

$$Gem_{gesloten} = \frac{25,303 + 13,075 + 18,446 + 36,411}{4}$$

$$Gem_{gesloten} = 23,30875 \text{ PPM/minuut}$$

3.5.3.2 Met verluchting

$$Gem_{open} = \frac{3,1339 + (-37,099)}{2}$$

$$Gem_{open} = -16,98255 \text{ PPM/minuut}$$

3.6 Bespreking

Het groter volume heeft een kleinere gemiddelde CO₂-productie, 21,8745 PPM/minuut dan het kleinere volume, 24,7430 PPM/minuut met een verschil van 2,8685 PPM/minuut. Dit is een zeer klein verschil en wil zeggen dat het volume maar een kleine impact heeft op de gemiddelde CO₂-productie.

Een lokaal met een kleiner aantal personen heeft een kleinere gemiddelde CO₂-productie, 18,446 PPM/minuut dan hetzelfde lokaal met een groter aantal personen, 25,303 PPM/minuut met een verschil van 6,857 PPM/minuut. Dit is een groter verschil dan bij het volume, is ook maar een verschil van 3 personen. Mocht het verschil van personen groter zijn zou het verschil van de gemiddelde CO₂-productie groter moeten zijn.

De invloed van verluchten is duidelijk zichtbaar, een lokaal met goede verluchting heeft gemiddeld een negatieve CO₂ productie, -16,98255 PPM/minuut, dit is aanzienlijk lager dan als er geen verluchting is, 23,30875 PPM/minuut met een verschil van 40,2913 PPM/minuut.

Besluit

Om zelf een CO₂ meettoestel te bouwen is een op infrarood licht gebaseerde CO₂ sensor aangeraden, een chemische CO₂ sensor is te onnauwkeurig wat de meetresultaten zwaar beïnvloed. Een krachtigere controller zoals een Raspberry Pie is ook aangeraden wegens een ingebouwde SD-kaart en Wi-Fi om draadloos de meetresultaten over te brengen.

Het volume van een ruimte heeft weinig invloed op de gemiddelde CO₂-productie, een groter volume kan de gemiddelde CO₂-productie met een kleine marge doen dalen tegenover een kleiner volume. Het aantal personen in een ruimte heeft een iets grotere invloed op de CO₂-productie, een kleiner aantal personen kan de gemiddelde CO₂-productie doen dalen tegenover een groter aantal personen. Het verluchten van een ruimte heeft een grote invloed op de gemiddelde CO₂-productie, een hogere verluchting kan de gemiddelde CO₂-productie doen dalen tegenover minder of geen verluchting.

Ervaringen met GIP

Het was een moeilijk proces maar het eindresultaat loont wel. Eén van de moeilijkste momenten in het proces was de switch van mentoren van het eerste trimester naar het tweede trimester. De invalmentor in het eerste trimester had een heel andere visie over het GIP dan meneer Thielemans, de tweede mentor. Dit was een zware klap voor mij en heeft me voor een lange tijd van de baan geduwd. Het heeft tot het einde van het derde trimester geduurd dat ik mijn draad terug gevonden had, hierdoor kunnen er enkele ruwe kantjes in dit GIP zijn.

Het ontwerpen van het meettoestel was vrij goed verlopen, ik had al vrij snel een idee hoe alles in elkaar zou passen. Het bouwen was iets moeizamer wegens een defecte CO₂ sensor maar over het algemeen viel dit gedeelte nog goed mee. Het coderen van het meettoestel was zeer leerrijk, wegens de grote hoeveelheid sensoren en libraries werd de Arduino snel overbelast. Hierdoor heb ik enkele nieuwe optimalisaties moeten toepassen die ik eerder niet kende. Het meten van de CO₂-concentratie verliep het moeizaamst. De grootte van het meettoestel hinderde het transport en de sensoren zijn nogal gevoelig en stopte snel met meten. Hierdoor moest ik vaak tijdens de les alle connecties controleren om een meting te kunnen starten. Dit is ook de reden dat er maar een klein aantal metingen gedaan zijn.

Literatuurlijst

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. (2018, 1 oktober). *Luchtkwaliteit meten met goedkope sensoren* [Brochure] Gevonden op het internet: http://www.meetjestad.net/klimaatdag2016/downloads/mjs_klimaatdag2016_wesseling.pdf

Waarom CO2 meten op school?. (s.a.). Gevonden op 11 oktober 2018 op het internet: https://www.gezondheid.be/index.cfm?fuseaction=art&art_id=14505

CO2 in het binnenklimaat gevaarlijk? CO2 hoeveelheid leidt tot klachten!. (s.a.). Gevonden op 11 oktober 2018 op het internet: https://www.klimaatbeheer.eu/blog_type/co2/

Provikmo ADMB Preventie. (2018, 11 oktober). *De luchtverversing op de arbeidsplaatsen CO2 als indicator voor een goede verluchting* [Brochure] Gevonden op het internet: https://www.prebes.be/sites/default/files/activiteiten/595/1417159915/pres_20141128_tomgeens_rolandtemmerman.pdf

AMS. (2018, 15 oktober). *CCS811 Ultra-Low Power Digital Gas Sensor for Monitoring Indoor Air Quality* [Datasheet] Gevonden op het internet: https://cdn.sparkfun.com/assets/learn_tutorials/1/4/3/CCS811_Datasheet-DS000459.pdf

VAISALA. (2018, 18 oktober). *How to Measure Carbon Dioxide* [Brochure] Gevonden op het internet: <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/CEN-TIA-Parameter-How-to-measure-CO2-Application-note-B211228EN-A.pdf>

Sunrom technologies. (2018, 24 oktober). *DHT11 - Humidity and Temperature Sensor* [Datasheet] Gevonden op het internet: <http://robocraft.ru/files/datasheet/DHT11.pdf>

Brainy-Bits. (2018, 24 oktober). *DHT11 Temperature & Humidity sensor with Arduino - Tutorial* [Videobestand]. Gevonden op <https://www.youtube.com/watch?v=Oog-ldLc9uYc>

Arduino - Introduction. (s.a.). Gevonden op 4 november 2018 op het internet: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>

Arduino - FAQ. (s.a.). Gevonden op 4 november 2018 op het internet: <https://www.arduino.cc/en/Main/FAQ>

-
- DCUARTIELLES. (2018, 4 november). Re: Research projects with Arduino? [Weblogbericht]. Gevonden op <https://blog.arduino.cc/2008/07/01/research-projects-with-arduino/>
- Torrone P. (2018, 4 november). Ardustat – low cost Arduino based galvanostat/potentiostat. Gevonden op het internet: <https://makezine.com/2007/08/09/ardustat-low-cost-arduino/>
- Arduino Blog » Research.* (s.a.). Gevonden op 4 november 2018 op het internet: <https://blog.arduino.cc/category/research/>
- Interferentiefilter.* (s.a.). Gevonden op 4 november 2018 in Wikipedia: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Interferentiefilter>
- De werking van elektrochemische sensoren.* (s.a.). Gevonden op 4 november 2018 op het internet: <https://www.euro-index.be/ei-1004>
- Dejan. (2018, 13 november). Re: Arduino SD Card and Data Logging to Excel Tutorial [Weblogbericht]. Gevonden op <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-sd-card-data-logging-excel-tutorial/>
- Glycolyse.* (s.a.). Gevonden op 18 november 2018 op het internet: <http://home.kpn.nl/b1beukema/glycolyse.html>
- De citroenzuurcyclus.* (s.a.). Gevonden op 18 november 2018 op het internet: <http://home.kpn.nl/b1beukema/citroenzuurcyclus.html>
- Oxidatieve fosforylering.* (s.a.). Gevonden op 18 november 2018 in Wikipedia: https://nl.wikipedia.org/wiki/Oxidatieve_fosforylering
- peggy. (2018, 18 november). Re: Release of carbon dioxide by individual humans [Weblogbericht]. Gevonden op <https://www.globe.gov/explore-science/scientists-blog/archived-posts/sciblog/2008/08/11/release-of-carbon-dioxide-by-individual-humans/comment-page-1/index.html>
- Adafruit CCS811 Library.* (s.a.). Gevonden op 5 januari 2019 op het internet: https://github.com/adafruit/Adafruit_CCS811

4 Most Common Types of Temperature Sensor. (s.a.). Gevonden op 17 februari 2019 op het internet: <https://cdn2.hubspot.net/hubfs/1765088/4%20Most%20Common%20Types%20of%20Temperature%20Sensors-1.pdf>

Relatieve luchtvochtigheid. (s.a.). Gevonden op 17 februari 2019 in Wikipedia: https://nl.wikipedia.org/wiki/Relatieve_luchtvochtigheid

Relative humidity. (s.a.). Gevonden op 17 februari 2019 in Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Relative_humidity

Weerstandsthermometer. (s.a.). Gevonden op 18 februari 2019 in Wikipedia: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Weerstandsthermometer>

Resistance thermometer. (s.a.). Gevonden op 18 februari 2019 in Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Resistance_thermometer

Thermistor. (s.a.). Gevonden op 18 februari 2019 in Wikipedia: <https://en.wikipedia.org/wiki/Thermistor>

Steinhart–Hart equation. (s.a.). Gevonden op 18 februari 2019 in Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Steinhart%E2%80%93Hart_equation

Thermocouple. (s.a.). Gevonden op 18 februari 2019 in Wikipedia: <https://en.wikipedia.org/wiki/Thermocouple>

Thermokoppel. (s.a.). Gevonden op 18 februari 2019 in Wikipedia: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Thermokoppel>

Koolstofdioxide. (s.a.). Gevonden op 18 februari 2019 in Wikipedia: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Koolstofdioxide>

Infrared Spectroscopy. (s.a.). Gevonden op 21 maart 2019 op het internet: <https://www2.chemistry.msu.edu/faculty/reusch/virttxtjml/spectrpy/infrared/infrared.htm>

Elmi L., Zampolli S., Cozzani E., Mancarella F., Cardinali G.C. (2019, 27 maart). Development of ultra-low-power consumption MOX sensors with ppb-level VOC detection capabilities for emerging applications: *Sensors and Actuators B: Chemical*, 135 (1), 342-351. Gevonden op het internet: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925400508005935>

Metal-oxide (MOX) sensors. (s.a.). Gevonden op 27 maart 2019 op het internet: <https://ams.com/mox-sensors>

How Does an NDIR CO2 Sensor Work?. (s.a.). Gevonden op 27 maart 2019 op het internet: <https://www.co2meter.com/blogs/news/6010192-how-does-an-ndir-co2-sensor-work>

IDT. (2019, 27 maart). *Gas Sensor Module for TVOC and Indoor Air Quality* [Datasheet] Gevonden op het internet: <https://www.idt.com/document/dst/zmod4410-data-sheet>

Vluchtige organische stof. (s.a.). Gevonden op 27 maart 2019 in Wikipedia: https://nl.wikipedia.org/wiki/Vluchtige_organische_stof

NTC Thermistor. (s.a.). Gevonden op 27 maart 2019 in STEM wiki: http://wiki.stemat-school.be/readonly/index.php?title=NTC_Thermistor

Poteet C.A., Pontoppidan K.M., Megeath T., Watson D.M., Isokoski K., Bjorkman J.E., Sheehan P.D., Linnartz H. (2013, februari). Anomalous CO₂ ice toward HOPS-68: A tracer of protostellar feedback. Gevonden op het internet: https://www.researchgate.net/publication/235638548_Anomalous_CO2_ice_toward_HOPS-68_A_tracer_of_protostellar_feedback

Ontaarding. (s.a.). Gevonden op 7 mei 2019 in Wikipedia: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Ontaarding>

Behrens H., Tamic N., Holtz F. (2004, februari). Determination of the molar absorption coefficient for the infrared absorption band of CO₂ in rhyolitic glasses. Gevonden op het internet: https://www.researchgate.net/publication/281496161_Determination_of_the_molar_absorption_coefficient_for_the_infrared_absorption_band_of_CO2_in_rhyolitic_glasses

Beer-Lambert law. (s.a.). Gevonden op 7 mei 2019 in Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Beer%E2%80%93Lambert_law

Golfgetal. (s.a.). Gevonden op 7 mei 2019 in Wikipedia: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Golfgetal>

Chemiresistor. (s.a.). Gevonden op 7 mei 2019 in Wikipedia: <https://en.wikipedia.org/wiki/Chemiresistor>

AppliedSensor. (2009). *Beyond CO₂: Sensing VOCs in Indoor Air Protects Health, Saves Energy* [Brochure] Gevonden op het internet: http://www.safe-detect.com/image/users/125583/ftp/my_files/articles/IAQ-ArticleFrom%20AppliedSensor071010.pdf?id=7135573

RTC Antwerpen. (2012). *I2C – TWI* [Brochure] Gevonden op het internet: <https://e2cre8.be/wp-content/uploads/2015/12/I2C.pdf>

I2C Info – I2C Bus, Interface and Protocol. (s.a.). Gevonden op 19 mei 2019 op het internet: <https://i2c.info/>

BASICS OF THE I2C COMMUNICATION PROTOCOL. (s.a.). Gevonden op 19 mei 2019 op het internet: <http://www.circuitbasics.com/basics-of-the-i2c-communication-protocol/>

Zuurbase evenwicht. (s.a.). Gevonden op 20 mei 2019 op het internet: <https://www.medics4medics.com/nl/zuurbase-evenwicht>

Diwaterstofcarbonaat. (s.a.). Gevonden op 20 mei 2019 in Wikipedia: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Diwaterstofcarbonaat>

Verstraten J. (2017, 3 april). De werking van een thermokoppel. Gevonden op het internet: <https://verstraten-elektronica.blogspot.com/p/thermokoppels-meten-extreme-temperaturen.html>