

Meting van de luchtkwaliteit op basis van de RP2040

Dr. Claus Kühnel (Duitsland)

Begin 2021 kondigde de Raspberry Foundation de Raspberry Pi Pico aan. Zoals Elektor-lezers weten, is dit niet zomaar een lid van de Raspberry Pi-familie, maar een zelfstandig microcontroller-board met de RP2040-microcontroller. Je kunt de RP2040 gebruiken om de luchtkwaliteit te meten. Hij verzamelt gegevens van een CO₂-sensor en stuurt die vervolgens via een ESP8266 door naar het populaire ThingSpeak-cloudplatform.

Direct na de aankondiging van de Raspberry Pi Pico waren er veel controversiële discussies op het Internet. Terwijl sommigen de nieuwe controller euforisch verwelkomden, vestigden anderen meteen de aandacht op het (in hun ogen) gebrek aan functionaliteit. Elektor probeerde in [1] een onpartijdig overzicht te geven. Maar in die tijd was de evaluatie vaak sterk gepolariseerd, en was er nauwelijks ruimte voor gedifferentieerde meningen.

In de tussentijd kwam Arduino op de markt met de Arduino Nano RP2040 Connect. De RP2040-microcontroller (versterkt met een ublox NINA-W102 radiomodule) vormt een compleet IoT-apparaat met WiFi- en BLE-connectiviteit. Als je de Arduino Nano RP2040 Connect in een project gebruikt, zul je waarschijnlijk ook de Arduino of de PlatformIO IDE gebruiken. Beide bieden voor enkele features van de RP2040 geen

ondersteuning, zoals dual core- en PIO-ondersteuning.

Als je daarentegen de Raspberry Pi Pico alleen gebruikt, kun je kiezen uit de Raspberry Pi Pico C/C++ SDK en de Raspberry Pi Pico Python SDK, die beide alle mogelijkheden van deze microcontroller ondersteunen. Je mist dan echter wel de ondersteuning van eventuele draadloze communicatie. Maar er zijn tegenwoordig genoeg communicatiemodules beschikbaar om deze functionaliteit toe te voegen.

Vanwege de ondersteuning van verschillende microcontrollers en de vele beschikbare bibliotheken, gebruik ik vaak de Arduino IDE voor mijn projecten. De nieuwe grote release van de Arduino IDE is sneller en nog krachtiger. De Arduino IDE 2.0 is hard op weg naar een stabiele status met een reeks Release Candidate-builds (RC). In april 2022 was Arduino IDE 2.0 RC 2.0.0-rc6 beschikbaar, en je kunt deze downloaden via [2]. Naast een modernere editor en een beter reagerende interface, biedt hij autocompletion, codenavigatie en zelfs een live-debugger.

Raspberry Pi Pico

We bespreken de Raspberry Pi Pico-microcontroller slechts in het kort, omdat er al veel recensies over zijn geschreven en de meeste lezers er wel mee bekend zullen zijn. Ik wil enkele voor mij belangrijke details behandelen.

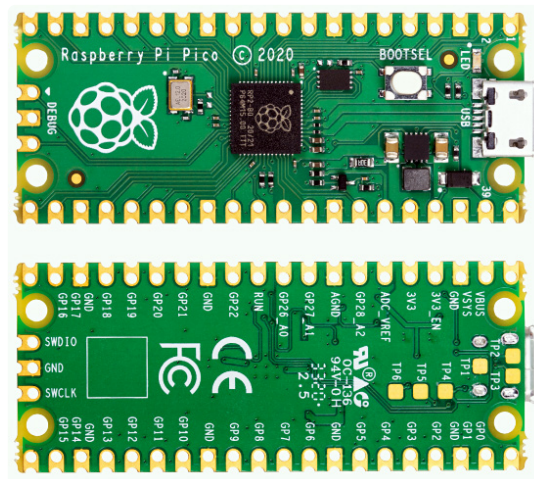
De Raspberry Pi Pico biedt een minimale infrastructuur om de RP2040 microcontroller te bedienen (**figuur 1**). De halfronde soldeereilandjes lang de randen van de print zijn herkenbaar, waardoor de Raspberry Pi Pico eenvoudig op een carrierboard kan worden gemonteerd (board-to-board solderen). Diverse modules (bijvoorbeeld Bluetooth- of Wi-Fi-modules) kunnen zo direct op een andere print worden gemonteerd.

De RP2040-microcontroller is een betaalbare en krachtige microcontroller met flexibele digitale interfaces. Een dual-core Cortex-M0+ processor geklokt op maximaal 133 MHz biedt voldoende power voor de meeste IoT-toepassingen.

Figuur 2 toont de meervoudige GPIO-toewijzing van de Raspberry Pi Pico, wat een hoge mate van flexibiliteit bij het hardwareontwerp oplevert. Je ziet dat de twee UART's, de twee I²C-bussen en de twee SPI-bussen meerdere malen beschikbaar zijn. Alleen de interne ADC-aansluitingen zijn toegewezen aan vaste pennen. Sommige GPIO's dienen interne functies. **Tabel 1** toont de betreffende GPIO's

Tabel 1. Belangrijkste pinnen en functies.

Pin	I/O-richting	Functie
GPIO29	in	ADC3 captures VSYS / 3
GPIO25	uit	user-LED
GPIO24	in	detectie VBUS; hoog als VBUS aanwezig is, anders laag
GPIO23	uit	stuurt de SMPS op het board

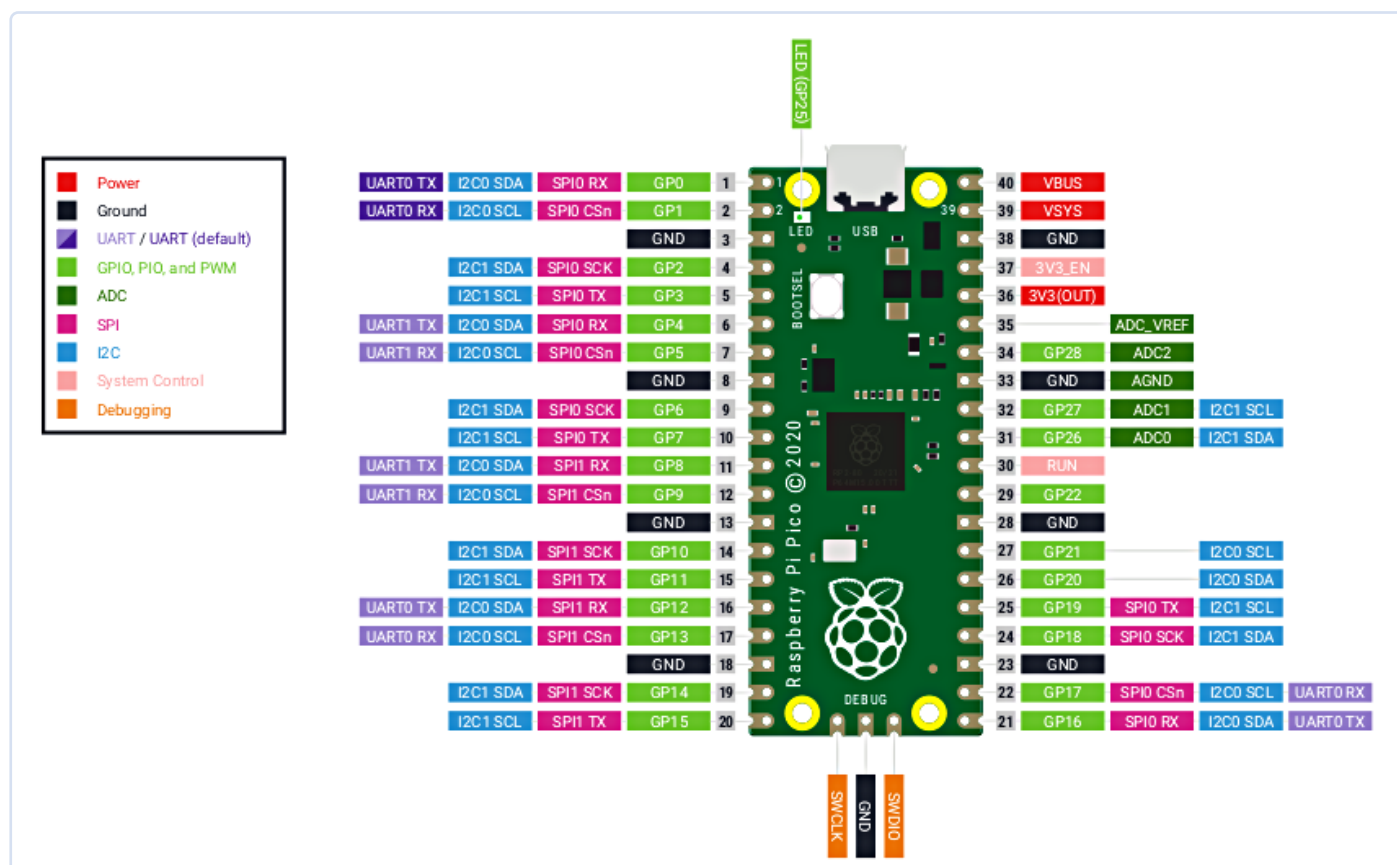


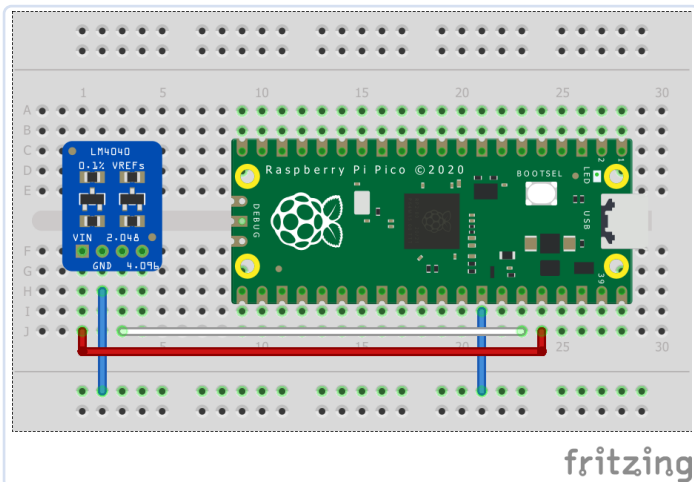
Figuur 1. Boven- en onderaanzicht van de Raspberry Pi Pico (bron: datasheet Raspberry Pi)

en hun functionaliteit. Naast deze GPIO's zijn er nog zeven aansluitingen naar buiten gevoerd. **Tabel 2** toont deze aansluitingen en hun functie. De schakelbare 3V3 (OUT) kan sensoren of actoren loskoppelen van de voeding om stroom te besparen. Voor batterijgevoede IoT-toepassingen kan dit zeer nuttig zijn. Als de ADC niet extreem nauwkeurig hoeft te zijn, is de intern gegenereerde referentiespanning goed genoeg. Je kunt de nauwkeurigheid verbeteren met een externe referentiespanning. Die kan bijvoorbeeld worden gegenereerd met een LM4040 en worden aangelegd op de ADC_VREF aansluiting (**figuur 3**). Merk op dat de ADC van de huidige RP2040 nog wat lineariteitsproblemen heeft. Dit heeft gevolgen voor alle boards die op de RP2040 zijn gebaseerd.

Maker Pi Pico

De Raspberry Pi Pico is niet het enige board op basis van de RP2040. Adafruit, Sparkfun, Pimoroni en andere bekende fabrikanten zijn op de markt met hun varianten van RP2040-gebaseerde microcontroller-boards. Met elk van deze boards kun je de luchtkwaliteit meten. Ik gebruik de Maker Pi Pico voor dit doel vanwege de uitstekende experimentele basis waarin Cytron Technologies voorziet. In de Elektor-shop vind je meer controllerboards en add-ons voor je projecten [3]. Cytron Technologies gebruikt de slogan "Simplifying Raspberry Pi Pico for Beginners" om reclame te maken voor zijn Maker Pi Pico-board (**figuur 4**). Het is altijd belangrijk om op bekend terrein te blijven als je





Figuur 3. Externe ADC_VREF met LM4040.

met een nieuwe microcontroller te maken krijgt. De nieuwe omgeving en nieuwe gereedschappen bieden voldoende mogelijkheden om fouten te maken.

De Raspberry Pi Pico is al gesoldeerd, en aan de linker- en rechterkant van het board zitten Grove-connectoren. Er is een SD-slot voor een microSD-kaart. De aansluiting voor een ESP-01 module rechtsonder is essentieel om Internet verbinding te krijgen. Naast tal van nieuwere WiFi-modules is de ESP-01, gebaseerd op de ESP8266 van Espressif, een goede oude module voor dit doel.

Figuur 5 toont de pinning van het Maker Pi Pico-board. Je ziet hier ook de corresponderende pinnen van de Raspberry Pi Pico. De reset-knop op het bord (ontbreekt op de Raspberry Pi Pico) is in de praktijk essentieel. Een Neopixel RGB-LED dient als indicatie voor verschillende toestanden.

Figuur 5 laat ook de meervoudige GPIO-toewijzing van de Raspberry Pi Pico aan de Grove-connectoren zien. Je ziet dat de twee UART's, de twee I²C-bussen en de twee SPI-bussen meerdere malen beschikbaar

Tabel 2. Meer pinnen en functies.

Pin	Naam	Functie
40	VBUS	USB-spanning (5 V). Een externe voeding via USB kan worden gedetecteerd via GPIO24 (hoog: spanning aanwezig; laag: geen spanning aanwezig).
39	VSYS	Systeemingangsspanning; bereik 1,8...5,5 VDC. De ingebouwde SMPS genereert de 3,3 V om de RP2040 en zijn GPIO's van stroom te voorzien.
37	3V3_EN	Hoog via pull-up weerstand. Indien verbonden met GND, wordt de 3,3 V uitgeschakeld.
36	3V3 (OUT)	3V3-voeding voor externe componenten. Belasting moet ≤ 300 mA zijn.
35	ADC_VREF	Voedingsspanning en referentie voor de ADC. Het gebruik van een externe spanningsreferentie voor een betere nauwkeurigheid is mogelijk.
33	AGND	Analoge GND voor GPIO26...29. Als de ADC niet in gebruik is of de ADC-nauwkeurigheid niet kritisch is, kan deze pen worden verbonden met digitale massa (GND).
30	RUN	Hoog via een pull-up weerstand. Indien laag, wordt de RP2040 gereset. Er is geen reset-knop.

zijn. Alleen de twee ADC-kanalen zijn vast toegewezen aan connector Grove6. Drie GPIO's zijn verbonden met programmeerbare knoppen; en verschillende uitgangen gaan naar de NeoPixel RGB-LED, piëzo-zoemer en audio. De ESP-01 WiFi-module is al genoemd.

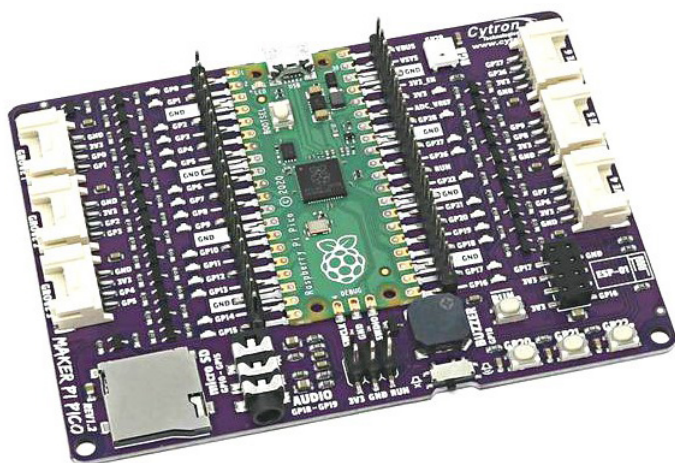
De toevoeging van een ESP-01 WiFi-module elimineert de waarschijnlijk grootste tekortkoming van een RP2040. De combinatie van een RP2040-board met een ESP8266 WiFi-module kost gewoonlijk minder dan € 12. Vergelijk dat eens met de € 30 (typisch) die je moet neertellen voor het Arduino Nano RP2040 Connect-board...

Het meten van de luchtkwaliteit

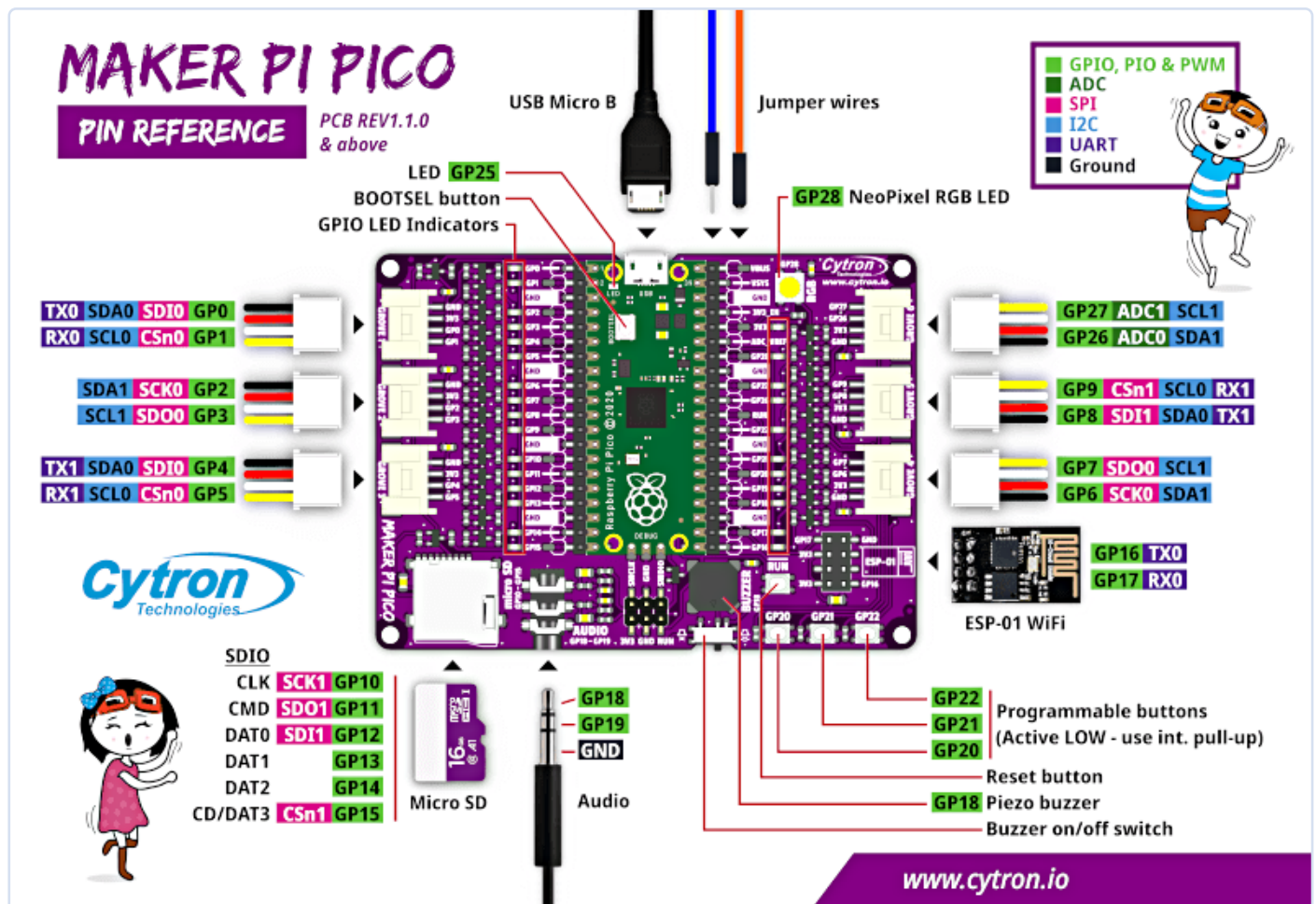
De luchtkwaliteit is een essentiële parameter in tijden van Corona. In de zomer is het risico op besmetting kleiner, maar er zijn verschillende prognoses voor de komende herfst en winter. Verontreinigingen zoals fijnstof, asbestvezels, formaldehyde, PCB's, radon, schoonmaakmiddelen, schimmel, stof, tabaksrook en vluchtige organische stoffen (VOC's) beïnvloeden de luchtkwaliteit binnenshuis, naast CO₂.

Het kooldioxidegehalte van de lucht die we normaliter inademen, bedraagt ongeveer 415 ppm (≈ 0,04%). De door een persoon uitgeademde lucht heeft een CO₂-gehalte van ongeveer 40.000 ppm. In ongeventileerde slaapkamers, volledig bezette klaslokalen of vergaderzalen kunnen we dus al snel tot 5000 ppm meten. Deze hoge CO₂-concentraties zijn nadelig voor de aandacht, de prestaties en de gezondheid in het algemeen.

Als je de luchtkwaliteit uitgebreid wilt evalueren, moet je zorgen voor een complex sensorsysteem. In een professioneel meetsysteem meten verschillende sensoren bijvoorbeeld de waarden voor CO₂, fijnstof (relevante groottecategorieën: PM1, PM2.5 en PM10), NO₂, CO, lawaai, temperatuur, vochtigheid en luchtdruk. Dit artikel concentreert zich



Figuur 4. Boveenaanzicht Maker Pi Pico (bron: Cytron).



Figuur 5. Pinning van het Maker Pi Pico-board (bron: Cytron).

op de meting van twee belangrijke waarden, CO₂ en VOC, die door twee sensortypen kunnen worden gemeten:

- NDIR-sensoren (niet-dispersieve infraroodsensoren) maken gebruik van de concentratie-afhankelijke absorptie van elektromagnetische straling in het infrarode bereik. De maximale absorptie van CO₂ vindt plaats bij een golflengte van 4,3 µm, zonder veel invloed van andere gassen. De CO₂-concentratie kan dus zeer selectief en eenvoudig worden gemeten.
- Bij MOX-sensoren veroorzaakt het stromende gas een verandering in een gasgevoelige metaaloxidelag. De weerstandsverandering is een maat voor de concentratie van de opgenomen VOC in hun geheel en kan niet worden toegewezen aan een bepaalde stof. Breedbandige VOC-MOX-sensoren kunnen een heel spectrum van stoffen meten die in specifieke concentraties gevaarlijk zijn voor de gezondheid.

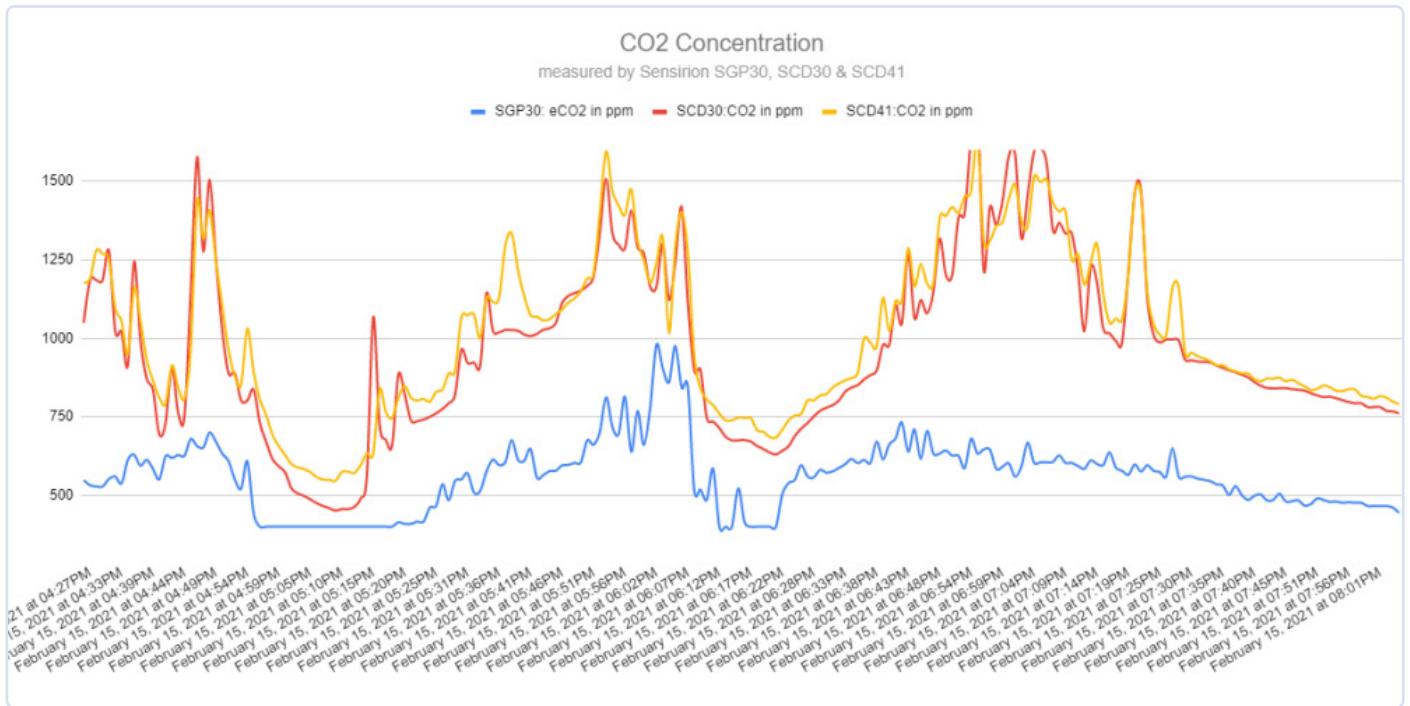
Zoals gezegd, concentreren we ons in dit artikel zich op de meting van CO₂ en VOC's. Stel dat we de CO₂-concentratie gebruiken als maat voor de luchtkwaliteit. Dan hebben we een goede indicatie van de afname van de luchtkwaliteit door wat de aanwezigen uitademen en van het daarmee gepaard gaande infectierisico door virussen die via aërosolen worden overgedragen.

Stel dat we meer breedbandige MOX-sensoren gebruiken om de luchtkwaliteit te meten. In dat geval hebben we een goede indicatie van de afname van de luchtkwaliteit door verschillende verontreinig-

gende stoffen, waaronder menselijke uitwasemingen en geurtjes. In een uitgebreide studie heb ik het gedrag van NDIR- en MOX-sensoren onderzocht bij het meten van de luchtkwaliteit [4]. Sorry, de tekst van die studie is in het Duits, maar **figuur 6** toont een belangrijk resultaat. In een van deze experimenten heb ik gemeten met twee CO₂-sensoren en een MOX-sensor. De gebruikte CO₂-sensoren waren de SCD30 (NDIR) en SCD41 (PASense), ontwikkeld door het Zwitserse bedrijf Sensirion. De MOX-sensor was een SGP30, eveneens van Sensirion. Omdat er naast de menselijke uitwasemingen geen andere stoffen aanwezig waren, volgen de meetwaarden van de MOX-sensor SGP30 die van de twee CO₂-sensoren SCD30 en SCD41. De meting van de luchtkwaliteit met de meer kosteneffectieve MOX-sensoren geeft resultaten te zien die vergelijkbaar zijn met de zuivere CO₂-concentratie in al die gevallen waar de ademlucht en uitwasemingen overheersen. Afwijkingen doen zich voor in verontreinigde omgevingen (bijvoorbeeld met formaldehyde).

Luchtkwaliteit via een MOX-sensor

Omdat een MOX-sensor volstaat om de luchtkwaliteit te meten, heb ik in mijn project de Sensirion SGP30 gebruikt. Deze sensor meet de Total Volatile Organic Compound (TVOC) en de equivalente berekende CO₂-concentraties (eCO₂). Deze laatste wordt berekend op basis van de concentratie van H₂ en is daarom niet zo exact als de rechtstreeks gemeten CO₂-concentratie, maar goed genoeg voor mijn doel. De chip zelf (**figuur 7**) was voor mij onhandelbaar, dus gebruikte ik de M5Stack TVOC/eCO₂-unit. Deze unit is een handzaam behuise



Figuur 6. CO₂-concentratie, gemeten met NDIR- en MOX-sensoren.



Figuur 7. SGP30 (bron: datasheet Sensirion SGP30).

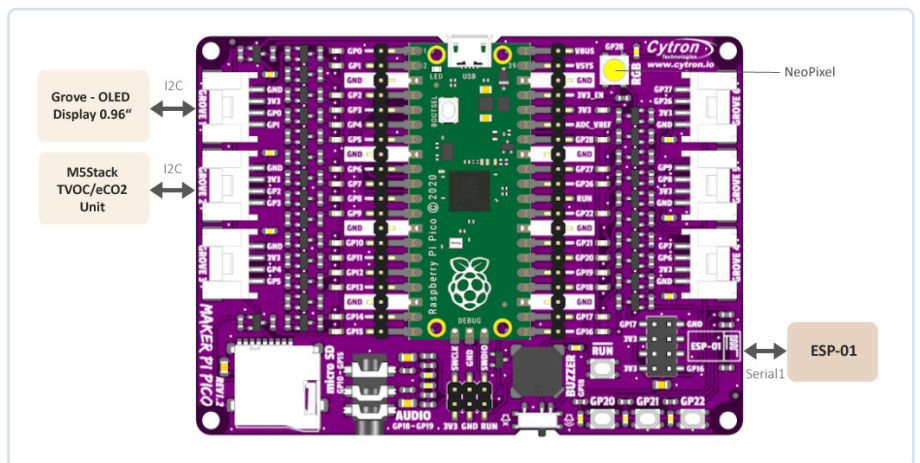
SGP30 die kan worden aangesloten via een Grove I²C-connector (figuur 8).

Een 0,96" OLED-display, aangesloten via I²C, toont de meetwaarden voor TVOC en eCO₂. De ESP-01 is verantwoordelijk voor de internet-toegang en is via de UART-interface Serial1 met de Raspberry Pi Pico verbonden. **Figuur 9** toont alle gebruikte periferie die op het Maker Pi Pico-board is aangesloten. De NeoPixel doet dienst als verkeerslicht-display. Groen betekent goede luchtkwaliteit, geel betekent minder goed, en rood betekent slechte luchtkwaliteit (het is dan zaak te ventileren).

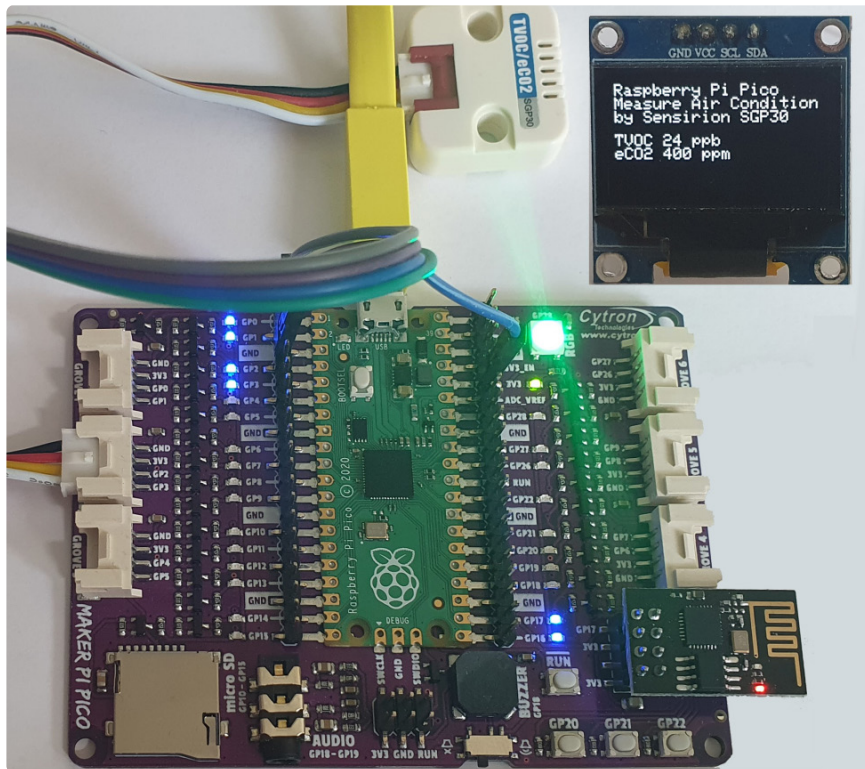
Figuur 10 toont de complete schakeling. De controller vraagt de SGP30-sensor elke vijf seconden af en zendt de laatste gemeten waarden één keer per minuut naar de ThingSpeak-server. De kleur van de NeoPixel-LED volgt de gemeten eCO₂-waarde en kan eenvoudig worden aangepast (figuur 11).



Figuur 8. M5Stack TVOC/eCO₂-sensor (bron: M5Stack).



Figuur 9. De hier gebruikte periferie, aangesloten op Maker Pi Pico (bron: Cytron/auteur).

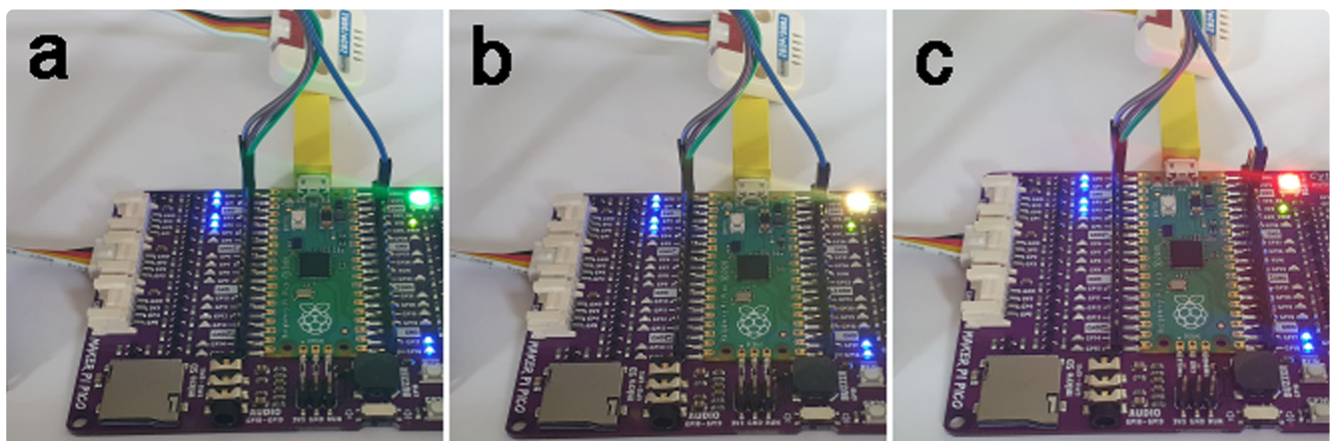


Figuur 10. Meting van de luchtkwaliteit met Sensirion SGP30 en Raspberry Pi Pico.

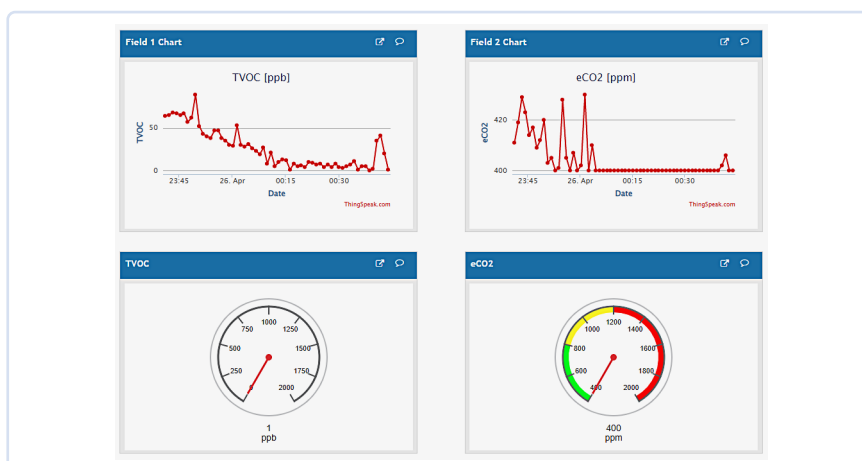
Voor het visualiseren van de gemeten waarden op ThingSpeak wordt de data verstuurd via HTTP GET-toegang tot de ThingSpeak-API. **Figuur 12** toont de visualisatie van de gemeten waarden in ThingSpeak [5].

Software

Voor dit project heb ik de Arduino IDE 2.0 gebruikt, zoals al eerder opgemerkt. Earle F. Philhower III heeft de Raspberry Pi Pico geport voor programmering met de Arduino IDE. Dankzij zijn werk kunnen we nu alle verschillende RP2040-boards programmeren met de Arduino IDE. Deze port van de RP2040 (Raspberry Pi Pico-processor) naar het Arduino-ecosysteem maakt gebruik van de kale Raspberry Pi Pico-SDK en een aangepaste GCC



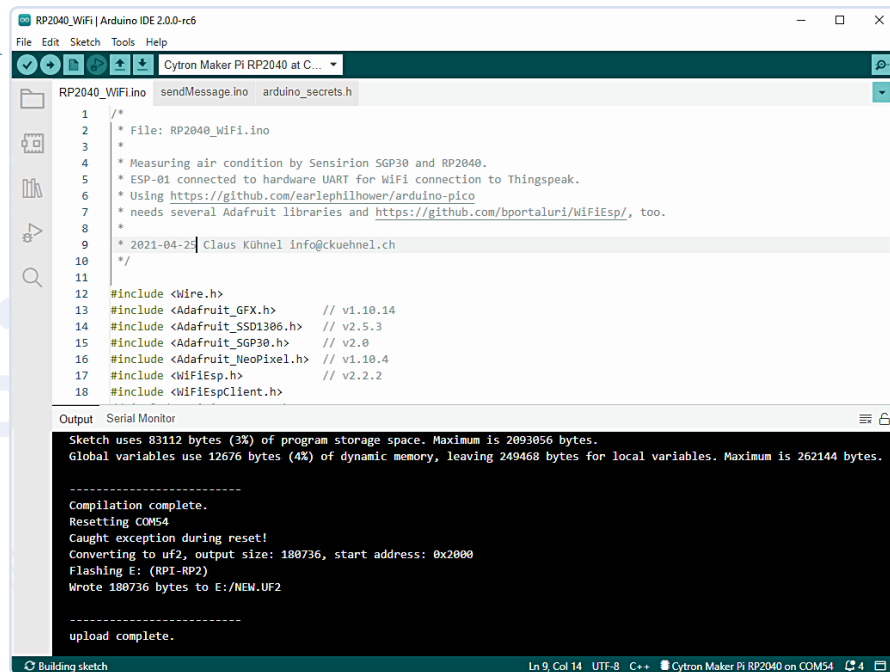
Figuur 11. Indicatie van de gemeten eCO_2 -waarde via de kleur van de NeoPixel RGB-LED.



Figuur 12. Visualisatie in Thingspeak.

10.3/Newlib 4.0 toolchain.

In bootloader-modus worden boards automatisch herkend en in de Arduino IDE getoond. Het upload-commando werkt met het Microsoft UF2-gereedschap (meegeleverd). Instructies voor installatie en gebruik zijn te vinden op GitHub [6]. **Figuur 13** toont het programmavoorbeeld *RP2040_WiFi.ino*. Het maakt gebruik van twee extra bestanden, *sendMessage.ino* en *arduino_secrets.h*. Deze zijn beschikbaar voor download op GitHub [7]. Tijdens de eerste compilaties van deze software-versie vond de compiler twee fouten in het bestand *WiFiEspClient.cpp* van de WiFiEsp library v2.2.2. Na het toevoegen van de ontbrekende return-statements werkte het.



Figuur 13. Programma-voorbeeld RP2040_WiFi.ino in de Arduino IDE 2.0.

```
size_t WiFiEspClient::print(const __FlashStringHelper
*ifsh)
{
    return printFSH(ifsh, false); // 2022-04-25 CK
}
```

```
// if we do override this, the standard println will
// call the print method twice
size_t WiFiEspClient::println(const __FlashStringHel-
per *ifsh)
{
    return printFSH(ifsh, true); // 2022-04-25 CK
}
```

Het programma *RP2040_WiFi.ino* bevat alle benodigde bibliotheken. Ik heb de versies daarvan als commentaar opgenomen. Declaraties en initialisaties volgen voor de functie *setup()*. De initialisatie van de periferie is interessant en onderstreept de flexibiliteit van de RP2040. De onderstaande code is een uittreksel uit de becommentarieerde broncode die de toewijzing van functies aan GPIO en hun initialisatie toont.

```
//I2C0 for SSD1306 connection
Wire.setSDA(0);
Wire.setSCL(1);
Wire.begin();
...
// I2C1 for SGP30 connection
Wire1.setSDA(2);
Wire1.setSCL(3);
Wire1.begin();
...
// Serial1 for ESP-01 connection
Serial1.setRX(17);
Serial1.setTX(16);
Serial1.begin(115200);
WiFi.init(&Serial1);
```

eCO₂-waarden onder 800 worden aangegeven met een groene LED. Tussen 800 en 1200 licht de LED geel op. Boven 1200 wordt de LED rood (figuur 11c). Je kunt deze niveaus natuurlijk naar wens aanpassen. De functie *sendMessage()* is verantwoordelijk voor de HTTP GET-toegang tot de Thingspeak-API. De regel

```
client.println("GET /update?api_
key=" + api_key + "&field1=" + String(T-
VOC) + "&field2=" + String(eCO2) + " HTTP/1.1");
```

is verantwoordelijk voor het verzenden van API-sleutel, TVOC- en eCO₂-waarden naar de Thingspeak-API (figuur 14). Verder zie je de seriële uitvoer van het programma na het resetten in dit screenshot. Voor WiFi-toegang moet je je SSID en wachtwoord aanpassen en voor Thingspeak het write-token in het *arduino_secrets.h* bestand. Registratie bij Thingspeak is vereist. De voorbeelden in de onderstaande code werken niet.

```
// Access data for services

// WiFi
const char* ssid = "Sunrise_2.4GHz_8xxxx0";
const char* pass = "u2uxxxxxDs";

// Thingspeak
// GET https://api.thingspeak.com/
update?api_key=33xxxxxxSZE&field1=0&field2=0
const char* server = "api.thingspeak.com";
String api_key = "33xxxxxxSZE";
```

Je kunt deze toepassing uitbreiden tot een gesloten-lus systeem op basis van de hier gebruikte hardware. Gebruik andere Grove-units om bijvoorbeeld de ventilatie van een ruimte te regelen op basis van de eCO₂-waarde. Afhankelijk van temperatuur en vochtigheid is ook het regelen van een airconditioningsysteem mogelijk. Je moet nu verdere ideeën kunnen ontwikkelen voor het implementeren van automatise-

```

21 void sendMessage()
22 {
23     // close any connection before send a new request
24     // this will free the socket on the WiFi shield
25     client.stop();
26
27     Serial.println("Starting connection to server...");
28     // if you get a connection, report back via serial
29     if (client.connect(server, 80))
30     {
31         Serial.println("Connecting...");
32         // Make a HTTP request
33         client.println("GET /update?api_key=" + api_key + "&field1=" + String(TVOC) + "&field2=" + String(eCO2) + " HTTP/1.1");
34         client.println("Host: api.thingspeak.com");
35         client.println("Connection: close");
36         client.println();
37     }
38 }

```

Output Serial Monitor x

Message (Ctrl + Enter to send message to 'Cytron Maker Pi RP2040' on 'COM54')

```

RP2040 Air Condition Measurement
Found SGP30 serial #01684D23
[WiFiEsp] Initializing ESP module
[WiFiEsp] Initialization successful - 1.5.4
Attempting to connect to WPA SSID: Sunrise_2.4GHz_8AC2A0
[WiFiEsp] Connected to Sunrise_2.4GHz_8AC2A0
You're connected to the network
SSID: Sunrise_2.4GHz_8AC2A0
IP Address: 192.168.1.217
Signal strength (RSSI): -77 dBm
Initialization finished.
TVOC 0 ppb      eCO2 400 ppm
TVOC 0 ppb      eCO2 400 ppm
TVOC 0 ppb      eCO2 400 ppm

```

Figuur 14. Functie `sendMessage()` in het bestand `sendMessage.ino` en seriële uitvoer.

ring in je omgeving. Misschien vind je in een ander Elektor-artikel [8] aanvullende informatie over luchtmeting en nog wat meer inspiratie voor je projecten. [↩](#)

210636-03



GERELATEERDE PRODUCTEN

- **RP2040-controllerboards en meer @ Elektor**
www.elektor.nl/raspberry-pi/rp2040
- **Sensoren @ Elektor**
www.elektor.nl/catalogsearch/result/?q=Sensors

Over de auteur

Dr. Claus Kühnel studeerde informatietechnologie aan de Technische Universiteit van Dresden en ontwikkelt al vele jaren embedded systemen voor onder andere laboratoriumdiagnostische apparatuur. In dit interdisciplinaire vakgebied kwam hij in contact met de makerscene. Hij heeft talrijke artikelen en boeken gepubliceerd over microcontroller-hardware en -software in Duitsland en daarbuiten. Hij is gefascineerd door nieuwe technologieën rond microcontrollers.

Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de redactie van Elektor via redactie@elektor.com.

WEBLINKS

- [1] L. Lemmens, M. Claussen, "Kennismaking met het Raspberry Pi Pico-board en de RP2040", Elektor mei/juni 2021: www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-177/59602
- [2] Arduino IDE 2.0-download (Windows 64bit): https://downloads.arduino.cc/arduino-ide/arduino-ide_2.0.0-rc6_Windows_64bit.exe
- [3] RP2040 controllerboards en meer @ Elektor: www.elektor.nl/raspberry-pi/rp2040
- [4] Meting van de luchtkwaliteit met NDIR- en MOX-sensoren (Duitstalig): <https://tinyurl.com/yvj9z5sb>
- [5] Resultaten inThingspeak: <https://thingspeak.com/channels/1392977>
- [6] Raspberry Pi Pico Arduino-core voor RP2040: <https://github.com/earlephilhower/arduino-pico>
- [7] Voorbeeld RP2040_WiFi.ino: https://github.com/ckuehnel/Arduino2020/tree/master/RP2040/RP2040_WiFi
- [8] L. Lemmens, M. Claussen, "CO2-wachter", Elektor mei/juni 2022: www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-258/60497
- [9] Raspberry Pi Pico-pinning: <https://datasheets.raspberrypi.com/pico/Pico-R3-A4-Pinout.pdf>