

Draagbaar stand-alone luchtkwaliteit-display voor $2,5\mu\text{m}$ -deeltjes

houd(t) een oog op uw gezondheid

Laurent Labbe (Frankrijk)



In deze tijd van de COVID-19-pandemie zou men bijna vergeten dat er andere redenen zijn om een gezichtsmasker te dragen. En dat er plaatsen zijn waar dit al veel langer aan te raden of zelfs nodig is. In grote Aziatische steden is buiten sporten vaak problematisch vanwege luchtvervuiling, vooral door deeltjes van $2,5\mu\text{m}$, ook wel PM2.5 genoemd. Hoge concentraties van deze kleine deeltjes in de ademlucht kunnen schadelijk en zelfs gevaarlijk zijn voor uw gezondheid. Het PM2.5-display van dit artikel wordt gebruikt om de luchtkwaliteit te bewaken.

Ik had al een PM2.5-display gemaakt, oplaadbaar via een zonnepaneel, maar dat was niet geschikt voor binnen. Ik had ook een ESP32-gebaseerde versie ontworpen, waarmee ik verschillende sensoren heb getest en waarvan de gegevens via WiFi naar Thingspeak werden gestuurd, maar deze was niet draagbaar. Het belangrijkste idee van dit project is om een apparaat te ontwerpen dat zo compact mogelijk is, op batterijen werkt, enkele weken autonoom kan functioneren en permanent de PM2.5-index van de omgevingslucht weergeeft. Dit draagbare display kan bijvoorbeeld buitenshuis worden geplaatst met een zuignap op een raam, zodat het PM2.5-niveau van binnenuit permanent zichtbaar is. Maar u kunt het natuurlijk ook binnenshuis gebruiken.

Ontwerpfilosofie

De keuze van de stofdeeltjes-sensor is erg belangrijk. In een eerder project had ik

verschillende soorten sensoren getest, zoals een buitenversie met de Sharp GP2Y10-sensor. Als we echter een compact ontwerp willen, is van al deze sensoren alleen de Plantower PMS7003-sensor [10] bruikbaar. Deze heeft een seriële interface voor het verzenden van meetgegevens. Let er bij het bestellen van deze sensor op dat u deze inclusief bijpassende connector aanschaft! Omdat de sensor maximaal 100 mA verbruikt bij 5 V (voornamelijk vanwege de interne miniventilator), kan hij niet continu werken, de batterijen zouden binnen de kortste keren leeg zijn. De voedingspanning wordt geleverd door een lithiumbatterij, daarom is een DC/DC-converter (3,8 V naar 5 V) met *true-shutdown* vereist. Het display is een monochroom alfanumeriek 8x2 karakter LC-display. Het verbruikt minder dan 1 mA bij continu-weergave. Een kleuren- of OLED-display kan niet worden gebruikt vanwege het hoge stroomverbruik,

wat de autonomie niet ten goede komt. Voor een snelle weergave van de PM2.5-meting is een LED-bargraph toegevoegd. Het niveau wordt weergegeven door een oplichtende LED, zes PM2.5-niveaus met vijf LED's volgens de kleuren van **tabel 1**, waarbij het hoogste niveau wordt aangegeven als de rode en de blauwe LED aan zijn (donkerpaars in de tabel). Alle LED's hebben een laag verbruik, bijv. Kingbright WP71xx met een doorlaastroom van 2 mA. Een versie met laag verbruik en hoge helderheid kan handig zijn als het apparaat buiten wordt opgesteld. Er is ook een weergave van temperatuur- en luchtvochtigheid toegevoegd (optioneel), met behulp van een I²C SHT20/SHT21-sensor. De software ondersteunt ook de DS18B20 1-Wire temperatuursensor, maar die is in deze applicatie niet getest. Het hart van de applicatie is een PIC18F2520, met een MAX931 voor de bewaking van de

Air Quality Index (AQI Values)	Levels of Health Concern	Colors
0 to 50	Good	Green
51 to 100	Moderate	Yellow
101 to 150	Unhealthy for Sensitive Groups	Orange
151 to 200	Unhealthy	Red
201 to 300	Very Unhealthy	Purple
301 to 500	Hazardous	Maroon

Tabel 1: Uitleg AQI niveau's.

batterijspanning en een LTC4054 lithium-lader als periferie.

Het totale stroomverbruik van de detector hangt voornamelijk af van het interval tussen de metingen. Volgens de PMS7003-specificatie moet hij 30 seconden zijn ingeschakeld voordat de eerste betrouwbare meting kan worden uitgevoerd. Standaard staat het interval ingesteld op 20 minuten, maar dat kan via het menu worden gewijzigd. Met deze standaardinstelling en een 1000mAh-batterij kan de detector twee weken werken zonder op te laden. De grootte van de batterij hangt af van de behuizing. Elke lithium-, LiPo- of prismatische batterij kan worden gebruikt. Na het ontwikkelen van een compacte behuizing, kiezen we voor dit project een zo groot mogelijke batterij (qua volume) die nog in de overblijvende ruimte past. Ik heb een 1100mAh-batterij gevonden die prima past.

Eigenschappen van het PM2.5-display

De meting van het 2,5µm-deeltjesniveau wordt met regelmatige tussenpozen uitgevoerd. Deze periode kan in het menu worden gewijzigd tussen 10 en 60 minuten, waarbij 20 minuten een goed compromis is tussen meetnauwkeurigheid en stroomverbruik. Elk uur berekent het programma het gemiddelde van de laatste metingen, er wordt slechts één gemiddelde bijgehouden en opgeslagen in een tabel. Er zijn verschillende manieren om het luchtkwaliteitsniveau (geassocieerd met PM2.5) te berekenen. In dit project zijn twee methoden beschikbaar:

- IQA: rekenkundig gemiddelde over 24 uur
- NQI: voortschrijdend gewogen gemiddelde over 12 uur (hier NQI genoemd). De meest recente meting heeft een groter gewicht dan die van 11 uur geleden.

Standaard wordt de NQI-versie weergegeven. De LED-balk kan de volgende deeltjesniveaus weergeven:

- Meest recente meting (laatste)
- Laatste uurgemiddelde (uur)
- IQA of NQI

De LED's kunnen 's nachts worden uitgeschakeld om de batterijen te sparen. Een LDR meet het omgevingslicht en regelt de dag/nacht-modus.

Een interessante optie is om het huidige PM2.5-niveau in real time weer te geven. De sensor is continu actief en de weergegeven waarde wordt elke seconde vernieuwd. Deze optie verbruikt echter veel stroom en de batterij raakt in korte tijd leeg.

Andere waarden die kunnen worden weergegeven:

- Temperatuur en luchtvochtigheid
- Batterijspanning met 3 cijfers (bijvoorbeeld "384", wat 3,84 V betekent)
- Wanneer de batterijspanning laag is, knippert het LED-display om aan te geven dat opladen nodig is.

Er is een aansluiting voor optioneel opladen van de batterij uit een 5V-zonnecel voor buitengebruik.

De menu-instellingen worden opgeslagen in de interne EEPROM van de microcontroller. Alle andere waarden, tabellen en variabelen worden gereset zodra de unit wordt uitgeschakeld of wordt herstart.

Berekening van de Air Quality Index

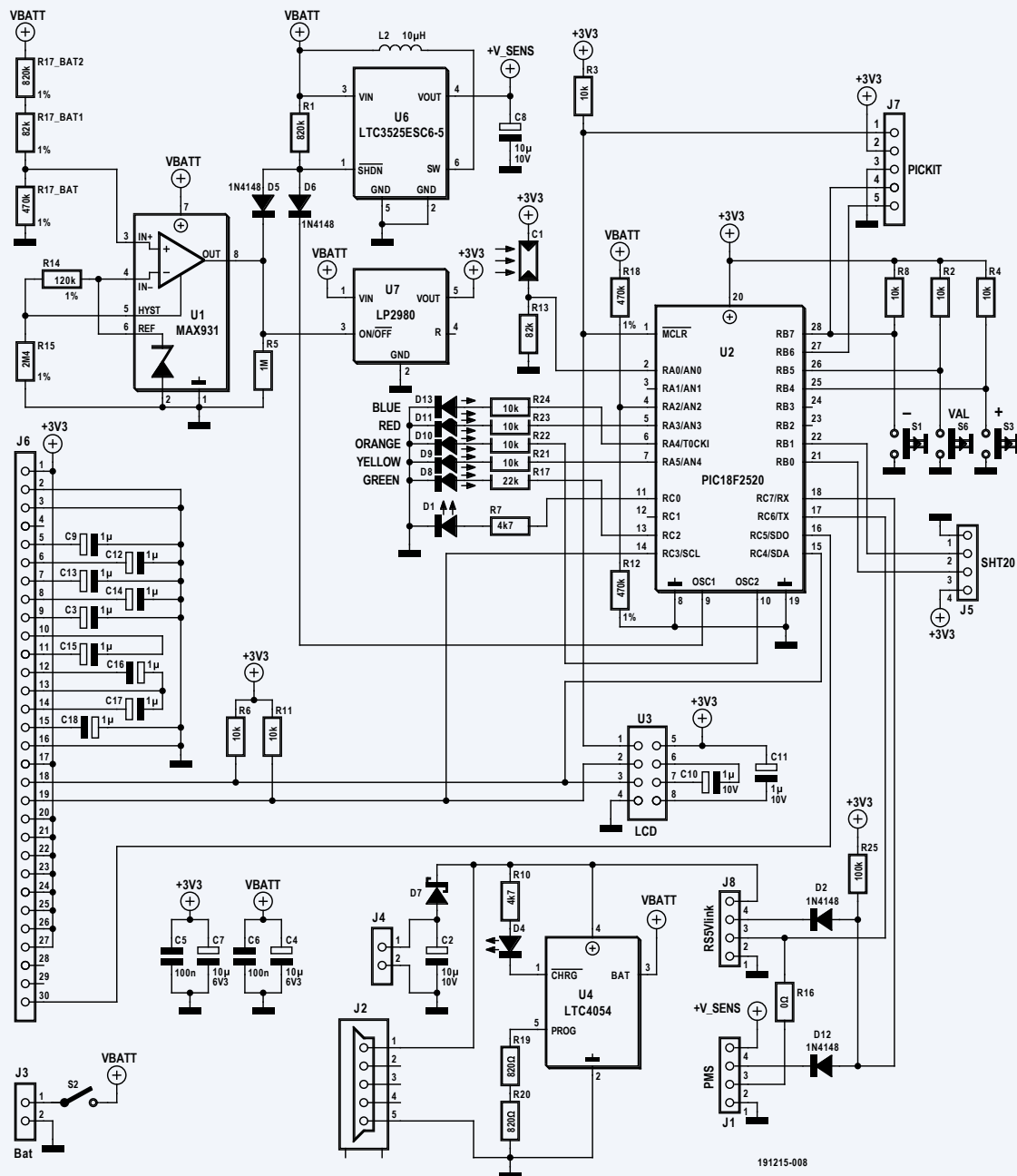
Er zijn veel methoden om de luchtkwaliteitsindex te berekenen. In dit project worden twee versies geïmplementeerd. De eerste is een gemiddelde over de afgelopen 24 uur met behulp van een Amerikaanse

berekeningsmethode, details over deze methode zijn te vinden op [1]. Het nadeel van deze methode is dat er gebruik wordt gemaakt van een voortschrijdend gemiddelde over 24 uur. Daarom wordt de weergegeven waarde beïnvloed door relatief oude luchtkwaliteitsniveaus. Om deze reden wordt er een nieuwe berekening (NowCast) gebruikt die een gewogen gemiddelde oplevert. De meting van het afgelopen uur weegt in de uiteindelijke berekening zwaarder dan die van 11 uur geleden. Het is ook een glijdend gemiddelde maar van meer dan 12 uur. Dit wordt NQI (New Quality Index) genoemd, en heeft dezelfde grenswaarden als de bovenstaande versie. Voor gedetailleerde uitleg van deze methode zie [2]. Om het simpel te houden heeft de indexwaarde van het voorgaande uur een gewicht van 50%, die van 2 uur geleden heeft een gewicht van 25%, die van 3 uur een gewicht van 12,5%, etc. Een praktische implementatie van het algoritme wordt besproken in [3].

De hardware

Het schema in **figuur 1** toont de hardware van het luchtkwaliteitsdisplay. De DC/DC-boostconverter voor de PMS7003-sensor is een LT3525ESC6-5 (U6). Het is een zogenaamde 'true shutdown' step-up converter. De meeste DC/DC-boostconverters hebben een uitschakelfunctie die de schakeltransistor in het smoorspoelcircuit stopt. Maar dan volgt de uitgangsspanning nog steeds de ingang via het diode-smoorspoelcircuit en wordt nog steeds stroom verbruikt. True shutdown schakelt de converter echt uit en er kan geen stroom naar de uitgang lopen. Het enige echte probleem met dit IC is het solderen. Het is werkelijk klein, soldeer pasta en een hetelucht-soldeerstation worden aanbevolen... De LP2980 3,3V-LDO (U7) wordt aangestuurd door U1, een MAX931-comparator met hysteresis. Hij schakelt de LDO uit als de accuspanning onder 3,2 V komt en kan alleen weer worden geactiveerd als deze spanning weer boven 3,8 V stijgt. Deze functie, niet noodzakelijkerwijs nuttig in de normale modus, is nodig bij gebruik van een zonnepaneel om op te laden. De MAX931 blokkeert ook de DC/DC-converter via diode D5 om onbedoeld starten te voorkomen bij een lage batterijspanning.

De seriële verbinding wordt gedeeld door de externe connector J8 (voor tracking en downloaden) en de PMS7003 (verbonden met J1). Het Tx-sigitaal van de microcontroller is op beide connectoren aangesloten.

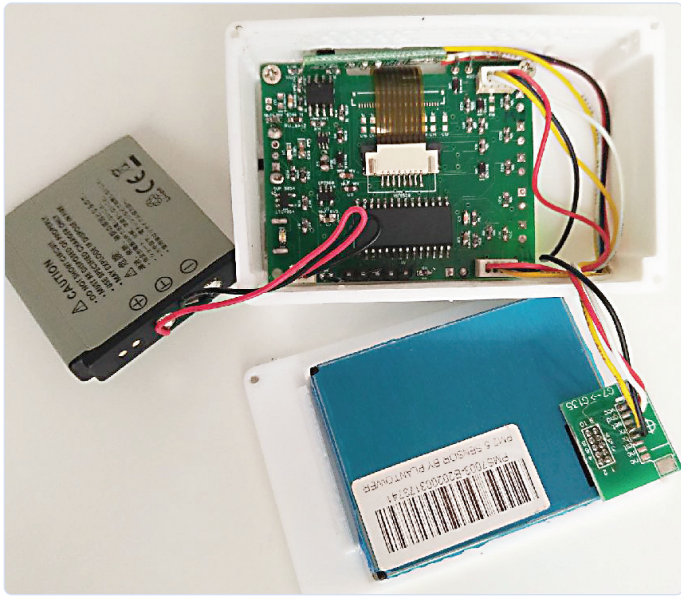


Figuur 1. De hardware van het PM2.5-display.

Het Rx-sigitaal wordt verzonden via een diode-OR D2/D12. Omdat de huidige firmware-versie geen commando's naar de PMS stuurt, is weerstand R16 (0 Ω) niet gemonteerd. Voor de SHT20/21-sensor wordt de I²C-verbinding in software gesimuleerd via poort B.0, poort B.1, zonder gebruik te maken van de interne I²C van de PIC (gebruikt voor de weergave). Het LC-display dat hier wordt gebruikt, een Eastrising Serial COG 8x2 karakter I²C LCD-module [7], heeft een I²C-interface en wordt aangesloten via U3. De lader voor de lithiumbatterij is een LTC4054 (of alternatief EUP8054, U4). Hij kan worden

gevoed via USB (J2) of via een extern zonnepaneel dat is aangesloten op J4. De stroom wordt tot 400 mA begrensd door de twee weerstanden R19 en R20. LED D4 geeft aan dat de batterij wordt geladen, deze bevindt zich naast de USB-connector. Connector J4 wordt gebruikt om een 5V-zonnepaneel aan te sluiten, dat de batterij oplaadt via Schottky diode D7. De vijf bar-graph-LED's (D8...D11 en D13) worden aangestuurd door de PIC-controller. De stroombegrenzende weerstand van elke LED is afhankelijk van het type LED dat wordt gebruikt (low power of niet) en van de doorlaatspanning van de diverse

kleuren-LED's. LED D1 (rood) licht op als de DC/DC-omzetter aan is en de deeltjessensor is ingeschakeld. Condensatoren C10 en C11 voor het display hebben een waarde tussen 1 μ F en 2,2 μ F (10 V). De achtergrondverlichting van het display wordt niet gebruikt (en kan worden verwijderd voor de montage). Het wordt met dubbelzijdig plakband op de print bevestigd. Het wordt aanbevolen om het display inclusief connector te kopen. De helderheid voor de dag/nacht-modus wordt gedetecteerd door een LDR (C1) op het frontpaneel. Die is verbonden met analoge ingang AN0 van de microcontroller.



Figuur 2. PCB, batterij en PMS7003 sensor met geopende behuizing.



Figuur 3. Voorzijde van het PM2.5-display in een 3D-geprinte behuizing.

Bouw van de schakeling

Het schema en de print zijn ontworpen met de DipTrace CAD-software van Novarm. Download de ontwerpbestanden vanaf de Elektor Labs-projectpagina op [9]. Alle componenten behalve de LED's zijn SMD's. Het moeilijkste onderdeel om te solderen is de DC/DC-converter, hiervoor heb ik soldeer pasta en een hetelucht-soldeerstation gebruikt. Gezien de compacte behuizing is het lastig om standaard-connectoren te monteren om de 2 sensoren aan te sluiten. Soldeer bij voorkeur de draden direct op het print. Alleen de batterij en het display gebruiken een connector.

Er zijn twee oplossingen voor het programmeren van de microcontroller. Sluit een PicKit3 aan op J7, of gebruik de seriële connector die wordt gedeeld met de PMS7003-sensor. In dat geval moet voor het solderen de microcontroller worden geprogrammeerd met een bootloader en moet de PMS7003 elke keer worden losgekoppeld als de μC opnieuw wordt geprogrammeerd. Persoonlijk gebruik ik altijd de zogenaamde Tiny-bootloader, die te vinden is op [6]. Het is noodzakelijk dat de embedded versie van de PIC de juiste waarde heeft voor de watchdog (hier 256 ms) en dus moet de het bronbestand opnieuw worden gecompileerd met die waarde. De .asm en .hex van deze bootloader voor de PIC18F2520 maken ook deel uit van de software-download op de Elektor Labs-projectpagina [9].

Software

De software is ontwikkeld in C, met een oudere versie van de MikroC-compiler. Hij kan worden geport naar de nieuwere versie, MikroC Pro, maar ik heb dat niet geprobeerd. Bron- en HEX-bestand kunnen worden gedownload vanaf de projectpagina op Elektor Labs [9]. De firmware is vrij simpel:

- Initialisatie
- Oneindige loop voor het testen op een toetsaanslag
- Weergave van de verschillende schermen, het niveau van de LED's (afhankelijk van de waarde van de helderheid voor dag/nacht-omschakeling)
- Schakel elke xx minuten de 5V-DC/DC-converter voor de deeltjessensor in. 30 seconden later wordt de PM2.5-waarde uitgelezen en wordt de DC/DC-converter uitgeschakeld.
- Elk uur een berekening van de gemiddelde waarde
- Opslag van deze waarde in een tabel met voortschrijdend gemiddelde met 24 posities (gedurende 24 uur)
- Berekening van de IQA (voortschrijdend 24-uurgemiddelde) of NQI (voortschrijdend 12-uur gewogen gemiddelde)

De functie `calculation_aqi()` berekent de waarde van de luchtkwaliteitsindex, volgens het principe van een eenvoudig gemiddelde over 24 uur. Een tabel bevat de laatste 24

waarden en het gemiddelde wordt simpel berekend. De functie `calculation_nqi()` berekent de gewogen waarde van de luchtkwaliteitsindex. Het gebruikte algoritme wordt uitgelegd in [3].

De conversie van deze waarden naar een indexwaarde (0-500) wordt uitgevoerd door de functie `conversion_aqi()`, volgens de Amerikaanse formule die in [1] is aangegeven. De hoofdloop van de software wordt beëindigd door een slaap-instructie. De processor wordt gewekt wanneer de volgende watchdog-cyclus wordt getriggert, het watchdog-interval moet worden ingesteld op 256 ms (voor de PIC18F2520 moet dit worden gedaan bij het programmeren van de microcontroller). Dit interval is kort genoeg om geen toetsaanslagen te missen. Een langere tijd zou beter zijn wat het stroomverbruik betreft, maar dan zou het mogelijk zijn om een toetsaanslag te missen. De software werkt ook zonder temperatuur-/luchtvochtigheidssensor, maar het display toont dan natuurlijk ongeldige waarden.

Behuizing

De behuizing is ontworpen in ThinkerCad en geprint met een 3D-printer. Het is vrij eenvoudig, met openingen voor zowel de SHT-sensor aan de bovenkant als voor de PMS7003-sensor, een voor de luchtinlaat, een voor de uitlaat. De meest recente versie van het ontwerp kan worden gedownload [4]. Ook is er een beugel voor een zonnecel ontwikkeld. Die is met kleine haakjes [5] aan

GEBRUIK

Druk lang op de VAL-knop (S6) om het configuratiemenu te openen, dit stelt de gebruiker in staat om:

- › het meetinterval (10-60 min) aan te passen met de + en - toetsen; bevestig door de VAL-knop in te drukken;
- › het LED-niveaudisplay gedurende de nacht in te schakelen (ja/nee);
- › de waarde te kiezen die door de LED's wordt weergegeven (laatste meeting, AQI/NQI, laatste uur gemiddelde);
- › de index weergave (AQI/NQI) te kiezen.

Door op de VAL-knop te drukken, bladert u door de verschillende schermen. Het teken op het LCD-scherm vóór de waarde geeft aan welke waarde wordt weergegeven:

L: laatste, meest recente meeting
H: uur, het huidige uurgemiddelde
Q: kwaliteit, Air Quality Index, IQA or NQI (afhankelijk van menu-instelling)
T: temperatuur (in graden celcius)
H: luchtvochtigheid (in %)
I: continu, display wordt elke seconde ververs

De LED-bargraph toont de waarde die in het menu is opgegeven, behalve het scherm met de continue waarde. In dit geval toont de bargraph de index van de laatste waarde die van de sensor is ontvangen; dit wordt elke seconde ververs.

Het continue waarde-scherm toont op de tweede regel de waarde van het aantal deeltjes dat door de sensor wordt gemeten, en vervolgens de berekende luchtkwaliteitsindexwaarde, voorafgegaan door de letter Q. Het display toont ook de minimum- en maximum indexwaarde gedurende de afgelopen 24 uur.

de achterkant van de behuizing bevestigd. De compacte hardware op batterijen werkt prima, maar het ontwerp kan altijd worden verbeterd. Het schema en de PCB hebben bijvoorbeeld al een connector (J6) voor een grafisch LC-display van 128 x 64 pixels met laag vermogen [8], maar dit is niet getest en wordt niet ondersteund in de huidige versie van de firmware, dus J6 en alle condensatoren er omheen in het schema kunnen worden weggelaten.

Helaas is luchtverontreiniging een nog steeds groeiend probleem, niet alleen in grote steden in het Verre Oosten. Het is goed om een PM2.5-display bij de hand te hebben om de luchtkwaliteit in de gaten te houden, maar om eerlijk te zijn: het is eigenlijk heel erg dat we het nodig hebben. 

191215-04

Een bijdrage van

Idee, ontwerp, tekst en illustraties:

Laurent Labbe

Schema: **Patrick Wielders**

Redactie: **Luc Lemmens, C.J. Abate**

Vertaling: **Hans Adams**

Layout: **Giel Dols**

Vragen of opmerkingen?

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



GERELATEERDE PRODUCTEN

- › **Velleman Earth Listener Kit**
www.elektor.nl/velleman-earth-listener-kit



WEBLINKS

- [1] **Air quality index:** https://en.wikipedia.org/wiki/Air_quality_index
- [2] **Herberekening van de air quality index (Nowcast):** [https://en.wikipedia.org/wiki/NowCast_\(air_quality_index\)](https://en.wikipedia.org/wiki/NowCast_(air_quality_index))
- [3] **Praktische formule om de NQI te berekenen:** www.epa.gov/airnow/faq/Nowcast-formula.pptx
- [4] **Behuizing:** www.tinkercad.com/things/gznm3a4WifP-new-boitier-dust-11
- [5] **Beugel voor zonnepaneel:** www.tinkercad.com/things/b3moh12Dzla-copy-of-copy-of-boitier-dust-6
- [6] **PIC-bootloader:** www.etc.ugal.ro/cchiculita/software/picbootloader.htm
- [7] **Alfanumeriek display:** www.buydisplay.com/character-display/character-display-panel?interface=461&resolution=135
- [8] **Graphisch display:** www.buydisplay.com/1-4-inch-graphic-128x64-lcd-module-serial-spi-st7565-black-on-white
- [9] **Elektor Labs-pagina van dit project:** www.elektormagazine.com/labs/portable-display-pm25-1-1
- [10] **PMS7003 datasheet:**
www.pdf-archive.com/2017/04/12/plantower-pms-7003-sensor-data-sheet/plantower-pms-7003-sensor-data-sheet.pdf