

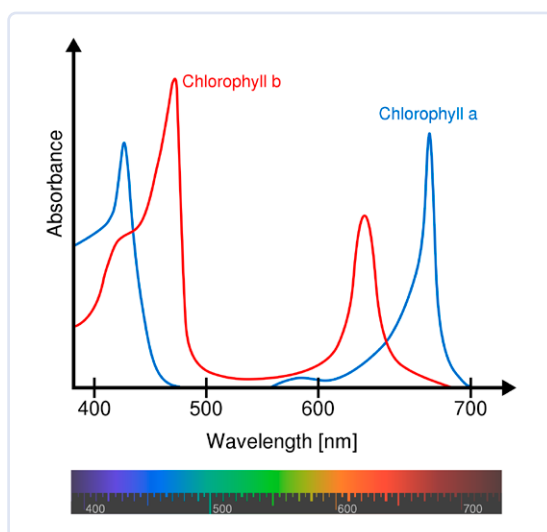
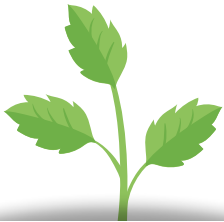


Landbouw in zakformaat

digitaal gestuurde kweekbox voor binnenshuis

Dmitrii Albot (Moldavië)

Wat dacht je van een doosje met een 'digitale boerderij'?
Lees hier hoe je een kleine box met sensoren en een microcontroller kunt bouwen om planten digitaal gecontroleerd te laten groeien.



Figuur 1. Chlorofyl a- en b-absorptiespectra (bron: Daniele Pugliesi, CC BY-SA 3.0 [9]).

Ik ben bijzonder geïnspireerd door de TED-voordracht over digitale landbouw van Caleb Harper, *Open Agriculture Initiative Director* van MIT: "This computer will grow your food in the future [1]". De belangrijkste vraag die hij in zijn toespraak stelde was: "Zou het niet mooi zijn als we lekker en voedzaam voedsel overal ter wereld binnenshuis konden verbouwen?" En zo werd mijn idee geboren!

Doelstellingen en overwegingen

Wat ik wilde bouwen was zoiets als een box of incubator die het ideale klimaat zou creëren voor het kweken van planten en precies de hoeveelheid licht en voedingsstoffen zou leveren die nodig is. Het zou een zonlichtsimulator, een irrigatiesysteem en een klimaatbeheersingssysteem moeten omvatten in een strakke, moderne behuizing. Aangezien het chlorofyl in planten voornamelijk reageert op slechts twee golflengtes rond 450 nm en 650 nm (figuur 1), moet het verlichtingssysteem een combina-

tie van rode en blauwe LED's zijn om de perfecte mix te bieden ter ondersteuning van zowel de vegetatieve groei als van de bloeifase.

Ik wilde een nieuwe bewateringmethode gebruiken, Aeroponics of Fogponics [2], met een ultrasone verstui-ver als nevelmachine om de planten water te geven door middel van met meststoffen verzadigde nevel. Het systeem moet automatisch de juiste hoeveelheid voedingsstoffen voor de planten doseren, precies op het moment dat ze nodig zijn.

Natuurlijk heeft mijn systeem ook pH- en TDS-sensoren (Total Dissolved Solids) nodig. Deze helpen respectievelijk bij het bereiken van een evenwichtige pH in het waterreservoir, wat het beste is voor de planten, en bij de dosering van voedingsstoffen. Verder moet het systeem worden uitgerust met een aansluiting voor automatische waterverversing, die dan gemakkelijk met een druk op de knop kan worden geregeld.

Het systeem moet een klimaatregeling hebben waarmee de temperatuur en de vochtigheid in het systeem tot op 1 °C respectievelijk 1% nauwkeurig kunnen worden geregeld. Daarom zijn een temperatuur- en vochtigheidssensor zoals DHT22 of DHT11 en een ventilator met passende aansturing vereist.

En ten slotte moet het systeem via een mobiele app bestuurd en gecontroleerd kunnen worden. Voor mij een absolute primeur om te trachten zo'n app te ontwikkelen! De app zou real-time informatie moeten leveren over pH, temperatuur, vochtigheid, voedingsstoffen enzovoort en die grafisch als functie van de tijd weergeven om statistieken te genereren en het groeiproces te delen via de sociale media. Ik zou ook slimme waarschuwingen willen implementeren die me laten weten wanneer ik in het systeem moet ingrijpen. Naast het weergeven van meetwaarden moet het systeem ook de mogelijkheid bieden om de parameters aan te passen.

Je kunt je voorstellen dat ik niet de eerste ben met dit idee, maar goede resultaten worden vaak bereikt door

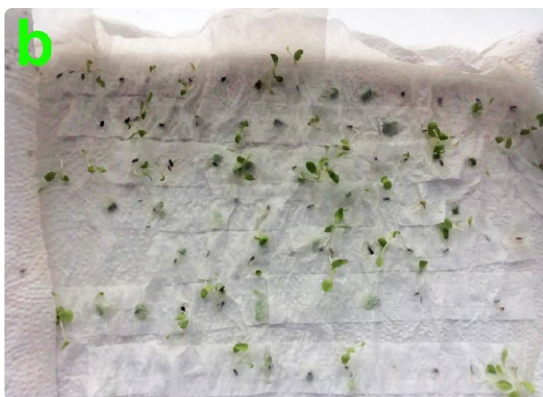
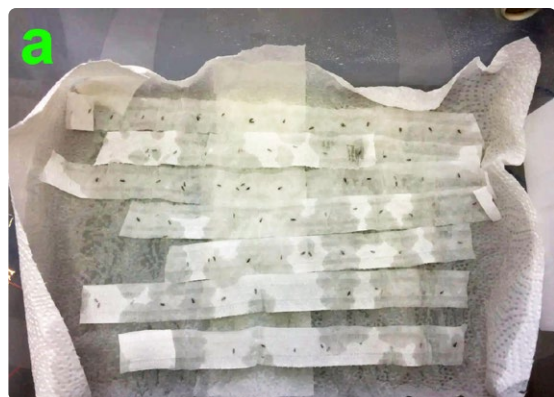
het verbeteren van wat al bestaat. Er zijn verschillende vergelijkbare projecten op de markt, maar ondanks al hun voordelen hebben ze een aantal nadelen: ze hebben bijvoorbeeld te veel ruimte nodig, of ze zijn te klein, te duur, of zijn ontworpen voor slechts één plantensoort, enzovoort. Ik wilde in elk geval een nieuw, geavanceerd open-source systeem ontwikkelen dat weinig nadelen heeft en alleen geoptimaliseerde functies implementeert. Dit klinkt erg ambitieus – en dat is het ook. En daarom: dit project is zeer uitgebreid en kan onmogelijk in één Elektor-artikel worden behandeld. Zie daarom de projectpagina [3] bij dit artikel, waar je veel details en achtergrondinformatie kunt vinden, alsmede gedetailleerde instructies voor de bouw.

Experimenten

Experimenteren met planten is erg tijdrovend! Ze hebben meestal weken tot maanden nodig om te groeien – daar moet je rekening mee houden! Zelfs als het basisconcept duidelijk is, moeten er vooraf nog een paar experimenten worden gedaan om te zien of de geplande opzet levensvatbaar is en welke aanpassingen er in de praktijk nodig blijken. Eerst wilde ik uitzoeken of het kweken van planten in een met voedingsstoffen verrijkte nevel en bij LED-verlichting beter verloopt dan in een conventioneel systeem met bevoeiing en 'echt' zonlicht. In theorie zou dit het geval moeten zijn, maar je mag niets zomaar aannemen voordat je het uitgeprobeerd hebt!

Voor mijn experimenten heb ik de planten daarom in groepen verdeeld:

- aarde + zonlicht: deze groep wordt gekweekt in natuurlijke omstandigheden, in aarde geplant en op de vensterbank geplaatst;
- nevel + zonlicht: deze groep is geplant in een container met voedingsrijke mist en op dezelfde vensterbank geplaatst;
- aarde + LED-licht: deze groep is in normale aarde



Figuur 2. De eerste zaadjes ontkiemen.

Figuur 3. Zaailingen in een ander substraat: vóór (a) en na een week (b).



geplant, maar krijgt kunstmatig LED-licht in plaats van zonlicht;

- nevel + LED-licht: dit systeem wordt geacht het beste te zijn omdat het de twee belangrijkste kenmerken van het beoogde systeem combineert.

Op de plantenafdeling van het plaatselijke filiaal van de Duitse supermarktketen Kaufland kocht ik een pakje zaadjes van gemengde sla als mijn 'proefkonijntjes'. Heb op dit punt wat geduld met me, want dit was de eerste keer in mijn leven dat ik iets plantte. Daarvoor heb ik wat onderzoek gedaan en geleerd dat je de zaden eerst moet laten ontkiemen. Dus heb ik de zaadjes in een plastic bakje gedaan en dat afgedekt met een papieren doekje. In dit stadium hebben de zaden bijna 100% vochtigheid nodig, dus besproeiده ik de het papier met water en pakte het geheel met een plastic zak om te voorkomen dat het water verdampte (**figuur 2a**). Ik liet de zaden 10 dagen zo liggen, en toen ik het bakje opende, was ik echt verbaasd: bijna alle zaden waren ontkiemd (**figuur 2b**)! Ik was bijna kinderlijk blij.

Vervolgens moest ik de beste plantjes kiezen, die met de

dikste stengel en die er gewoon groter en beter uitza-gen. Een YouTube-instructie adviseerde om de kleine zaailingen in een ander substraat over te planten tot zich zogenaamde 'tweede bladeren' vormen. Op Amazon bestelde ik kokoskorrels. Ze hebben vergelijkbare eigenschappen als aarde maar hebben de aardige eigenschap dat ze een zesvoudig volume krijgen als je ze water geeft. Ik bestelde ook een paar kweekbakjes voor de zaailingen. Die kostten slechts twee euro, maar maakten alles veel overzichtelijker. Ik deed de kokoskorrels in de compartimentjes, gaf ze water tot ze volgezogen waren, zette de plantjes in het midden en bedekte het geheel met een doorzichtig plastic deksel (meegeleverd). Mijn experimentele kas zag eruit als **figuur 3a**. Afgedekt liek ik de bak een week staan. Toen ik hem weer opende, was ik verbaasd: de plantjes waren daadwerkelijk gegroeid. **Figuur 3b** bewijst dat na één week het verschil merkbaar is! Nu kon ik ze in aarde en kleibolletjes zetten en gaan experimenteren met verneveling!

Tijdens een cursus computersondersteund ontwerpen ontwierp ik doorlatende bakjes voor de plantjes (**figuur 4a**). Ik kocht ook een plastic bak van de juiste

Figuur 4. 3D-geprinte plantenbakjes (a) en kant-en-klaar testsysteem (b).





Figuur 5. Volgende proef met een nieuw substraat (a). Slechts één zaadsoort ontkiemde (b).

afmetingen en tekende de te boren gaten af. In **figuur 4b** en in mijn YouTube-video [4] zie je mijn complete testsysteem, met de planten in kokoskorrels, kleibolletjes en aarde.

Om eerlijk te zijn: de resultaten vielen tegen. Slechts paar plantjes overleefden mijn vernevelingssysteem. Ik vermoed dat dit kwam door het groeimedium of de nevel, die niet intensief was om de kleibolletjes en de aarde vochtig te houden. Erger nog, ik was tijdens de paasvakantie tot inactiviteit gedwongen omdat het lab gesloten was. Als gevolg daarvan gingen al mijn plantjes dood! Na deze tegenslag besloot ik een ander systeem te testen met steenwol als alternatief groeimedium (**figuur 5a**). Na een week controleerde ik de kweekbak (**figuur 5b**) en zag dat één soort zaad succesvol was, maar een andere niet! Om het proces te versnellen, ging ik verder met de zaden die wel waren ontkiemd. Intussen zette ik een ander nevelsysteem op en probeerde de werkingstijd te optimaliseren om te zien of ik zaden kon laten ontkiemen met *alleen* nevel! Ik blijf experimenteren met verschillende parameters en omstandigheden om te zien hoe ver ik kan komen.

De elektronica

Om een lang verhaal kort te maken: bij het board had ik de keuze tussen *satshakit* [5] van Daniele Ingrassia en *FabLeo* [6] van Jonathan Grinham. De eerste is 100% compatibel met de Arduino IDE en zijn bibliotheken, 'fable' en een verbeterde, open-source versie van Fabkit. Hij is niet alleen goedkoper, maar ook sneller (16 MHz) en gemakkelijker te solderen. De Arduino IDE herkent dit board als een Arduino Uno.

Aan de andere kant heeft de *FabLeo* vrijwel dezelfde functionaliteit, plus hardware-USB. Aangezien ik al ervaring had met de ATmega328P, wilde ik iets nieuws proberen en besloot ik de *FabLeo* te gebruiken.

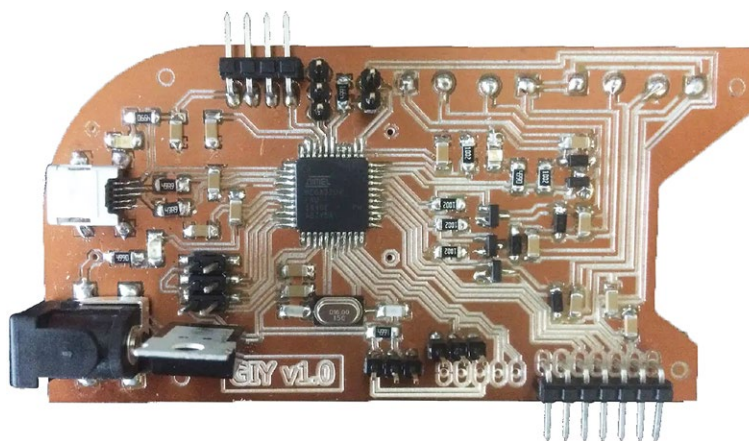
Voor de printlayout heb ik EAGLE gebruikt. De gratis versie volstaat voor dit project; de ontwerpbestanden kunnen worden gedownload van [3]. Het fab-netwerk

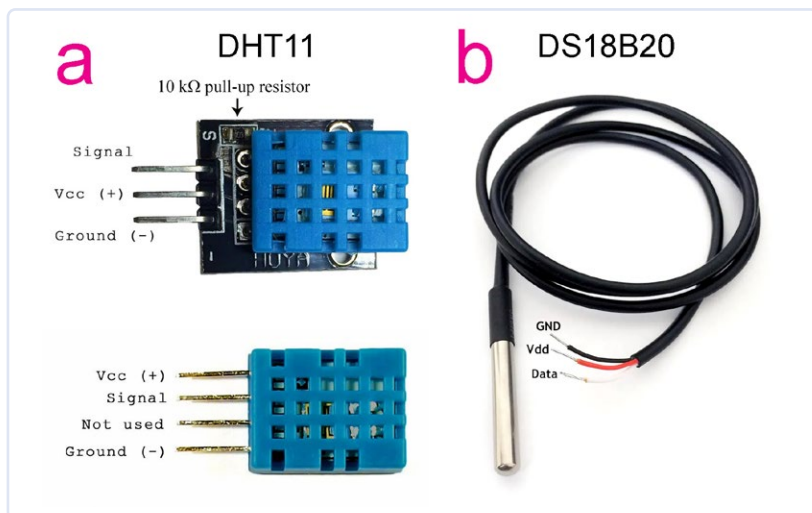
onderhoudt ook de voortdurend bijgewerkte fab.lbr-bibliotheek [7], die ik heb gebruikt. De details van de schakeling en het maken en solderen van de print zijn ook te vinden op [3]. Bijzonder is dat ik een (schakelbare) step-up converter van 12 V naar 24 V nodig had om de ultrasonische nevelmachine te voeden. Aan de onderkant van de print heb ik een WiFi-board gemonteerd dat ik heb gebouwd tijdens de netwerk- en communicatieweek van de cursus die ik volgde. Het resulterende en compleet gemonteerde board is te zien in **figuur 6**.

Sensoren

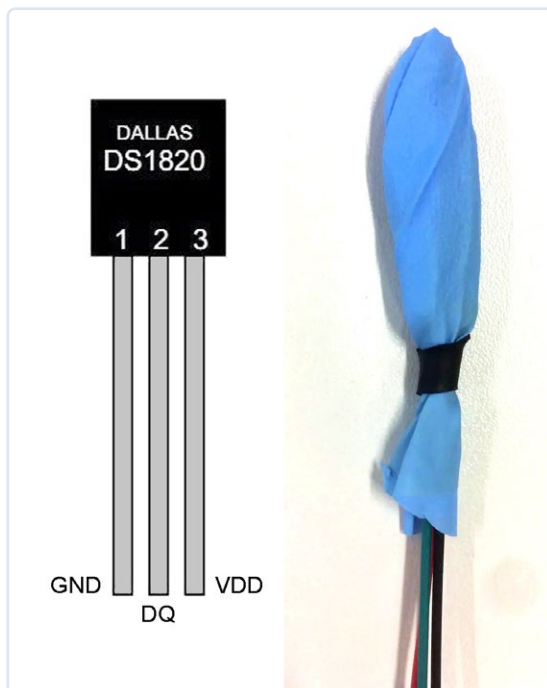
Om mijn board te programmeren gebruikte ik de Arduino IDE. Ik sloot het Arduino-board aan op de USB-hub en laadde de code [3]. De eerste sensor die ik aansloot was de DHT11 (**figuur 7a**) om temperatuur en vochtigheid te meten. Deze sensoren zijn erg eenvoudig en langzaam, maar een prima keuze voor beginners die wat simpele datalogging willen doen. De DHT11 combineert een capacitieve vochtigheidssensor en een thermistor. Binnenin zit ook een zeer eenvoudige chip

Figuur 6. De print van mijn prototype, met alle onderdelen gemonteerd.





Figuur 7. De sensoren:
DHT11 (a) en
DS18B20 (b).



Figuur 8. DHZ-isolatie
van een DS18B20-
sensor met een vinger
van een rubberen
handschoen.



Figuur 9. Het gebruikte
LC-display heeft een
resolutie van 128x64
pixels en is met slechts
3 aansluitingen op het
board aangesloten.

die de analoog/digitaal-omzetting uitvoert en de temperatuur- en vochtigheidsgegevens digitaal uitvoert – elke microcontroller kan die gemakkelijk uitlezen. De DS18B20 (figuur 7b) is een digitale 1-draads temperatuursensor van Maxim IC met een nauwkeurigheid van 9 tot 12 bit (bereik: -55°C tot $125^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}$). Voor het gebruik van deze sensor zijn de juiste functies beschikbaar in de Arduino-wereld.

Het vreemde is dat nadat ik de sensoren met succes had geprogrammeerd, het board niet meer werkte toen ik alle sensoren met elkaar verbond. Het kostte me nogal wat tijd om uit te vinden waarom dit gebeurde. Als snelle oplossing besloot ik een 'naakte' DS18B20-sensor te gebruiken, die ik op ware DHZ-manier heb geïsoleerd met één vinger van een rubberen handschoen (figuur 8).

De volgende sensor is een ouderwetse LDR – een tamelijk passieve elektronische component. Zijn weerstand bereikt een waarde van ongeveer $1\text{ M}\Omega$ in het donker ($\approx 0,1\text{ lx}$) maar neemt in licht af tot ongeveer $1\text{ k}\Omega$ ($\approx 100\text{ lx}$, afhankelijk van het type). De LDR werd aangesloten als spanningsdeler in combinatie met een vaste weerstand en uitgelezen via een ADC-ingang van de microcontroller. De volgende taak was het meten van het waterniveau. Ik wil een sensor hebben die alarm slaat als de watertank leeg is en het tijd is om het water bij te vullen. Ik heb gewoon mijn eigen watersensor gebouwd. Het basisprincipe van de watersensor is het meten van de elektrische geleiding tussen twee elektroden. Ik bedacht hoe ik de sensor kon kalibreren om aan mijn eisen te voldoen. Na wat experimenteren kreeg ik dat voor elkaar.

LCD-aansluiting

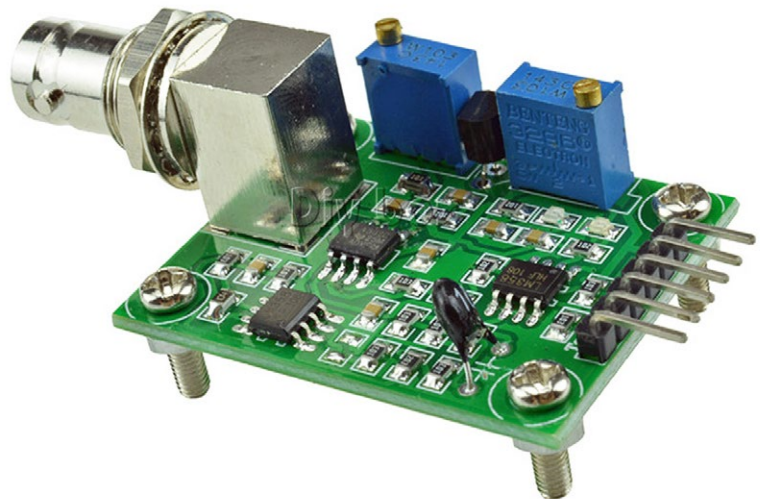
Het systeem heeft een display nodig. Mijn LC-display had veel aansluitingen nodig – te veel voor mijn board.



Ik moest dus een manier vinden om het 128x64-display op een andere manier aan te sluiten. Ik kon het display uiteindelijk aansluiten met slechts 3 digitale pinnen, waardoor de rest van de pinnen beschikbaar bleef voor andere doeleinden. Een tweede voordeel is dat ik minder draden nodig heb om alles met elkaar te verbinden, wat een kabelwirwar voorkomt. **Figuur 9** toont het display dat ik heb gebruikt.

pH-sensor

Dit was de lastigste sensor waar ik mee te maken kreeg. Het was moeilijk om informatie te vinden over de 'pH Sensor v1.1' (**figuur 10**), en daarom besloot ik hem zelf te onderzoeken. De sonde werkt als een (kleine) batterij wanneer hij in een waterige vloeistof wordt gestoken. Afhankelijk van de pH geeft hij een positieve of negatieve spanning af van een paar millivolt. Ik moest een opamp gebruiken om dit zwakke signaal te versterken tot een hanteerbaar bereik van 0...5 V voor een Arduino-board. De ijking van deze sensor is in detail beschreven in [3].



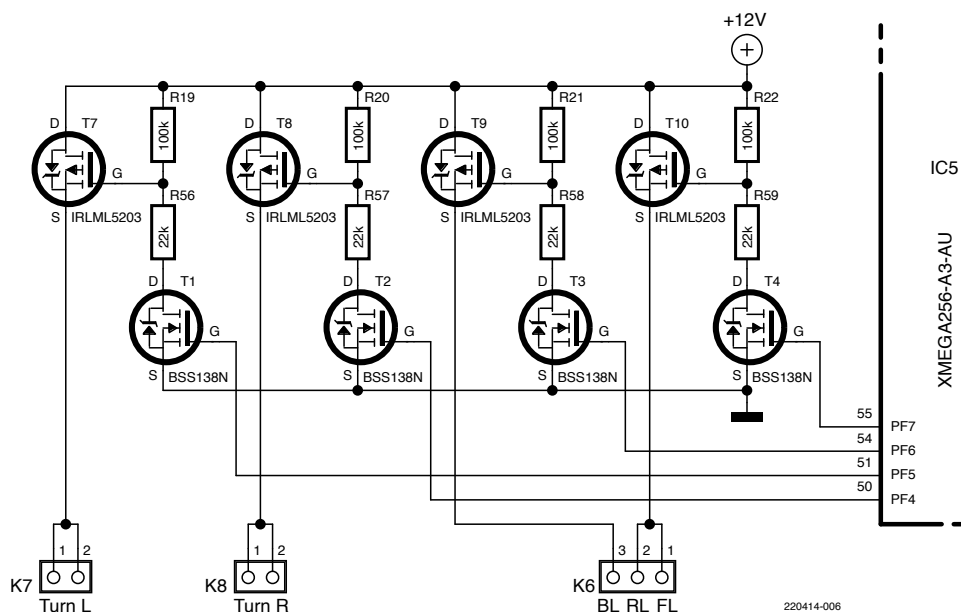
Figuur 10. De 'pH-sensor v1.1' is moeilijk te ijken (bron: [10]).

MOSFET's

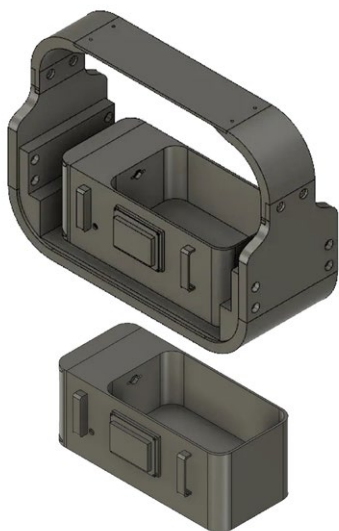
De stroomverbruikers in mijn systeem zijn een RGB LED-strip en de ultrasone verstuurder. Voor de aansluiting daarvan heb ik MOSFET's gebruikt die door digitale pinnen worden aangestuurd. **Figuur 11** toont het deel van de schakeling met de MOSFET-uitgangen.

Uitvoering

Voor mijn uiteindelijke systeem heb ik veel 3D ontwerpen en printtechnieken gebruikt. Ik moest twee verschillende printers gebruiken en heb met de instellingen geëxperimenteerd tot ik het gewenste resultaat kreeg. De uitdaging was dat ik wilde dat het er echt goed uitzag. Esthe-



Figuur 11. Dit deel van de schakeling (gemaakt met EAGLE) toont de MOSFET-uitgangstrappen.



Figuur 12. De constructie van de behuizing en de watercontainer.

tiek was een zeer belangrijk criterium, evenals functionaliteit! Ik wilde ook dat het systeem daadwerkelijk in elkaar gezet kon worden, wat het tot een nog grotere uitdaging maakte. Ook wilde ik gebruik maken van de vaardigheden die ik had geleerd, zoals 3D-printen, CNC-frezen, lasersnijden enzovoort.

Eerst maakte ik een eenvoudige schets op papier en daarna dook ik in Autodesk Fusion 360. **Figuur 12** toont de complete behuizing die het resultaat van al mijn inspanningen was. Mijn YouTube video [8] laat zien hoe deze 3D-geprint is. Hij heeft verschillende functies! Ten eerste is er genoeg ruimte voor planten, en ik heb in het midden een gat geboord voor de ultrasone vernevelaar, omdat die in balans met de tank moest zijn. Het probleem is dat het waterniveau minstens 2 cm boven de vernevelaar moet blijven, dus we nivelleren niet al het water op de hoogte van de vernevelaar! Als ik daarentegen de vernevelaar onder het niveau van de tank monteer, komt het water-nulniveau precies daar waar het moet zijn: nul voor de tank is 2 cm boven de vernevelaar. Zo wordt al het water verbruikt!

Er was nog veel meer te doen. Ik moest de waterdoor-

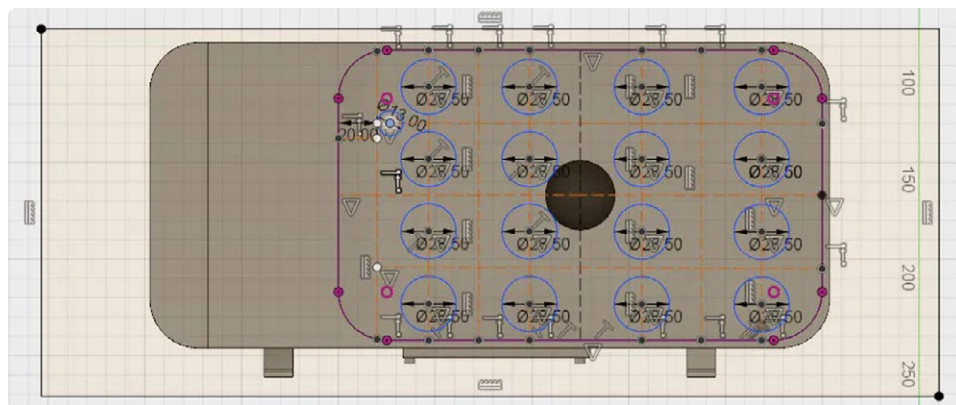
latende bakjes voor de planten 3D-printen en er een houder voor lasersnijden (**figuur 13**). Al met al moeten er veel acrylplaten worden gesneden en geboord. Meer details, met name hoe ik de bak waterdicht heb gemaakt met een stuk plastic, zijn te vinden op [3]. Op die pagina staan meer links naar YouTube video's.

Laat er geen gras over groeien!

Figuur 14 toont de LED-strips die ik heb gebruikt. De print is in het elektronica-deel ondergebracht (**figuur 15**). Voor alle duidelijkheid: figuur 16 geeft een indruk van hoe de plantjes zijn ondergebracht in hun houders, die in een passende afdekplaat hangen. Nu mag je applaudiseren: in **figuur 17** zie je het complete systeem in actie. Is het niet mooi geworden?

Als je geïnspireerd bent door dit project en je eigen systeem of een geoptimaliseerde versie ervan wilt bouwen, vind je een schat aan informatie op de webpagina van het project [3] die al vaker is genoemd. Maar voordat je begint, moet je bedenken dat dit geen project is dat in één weekend klaar is! 

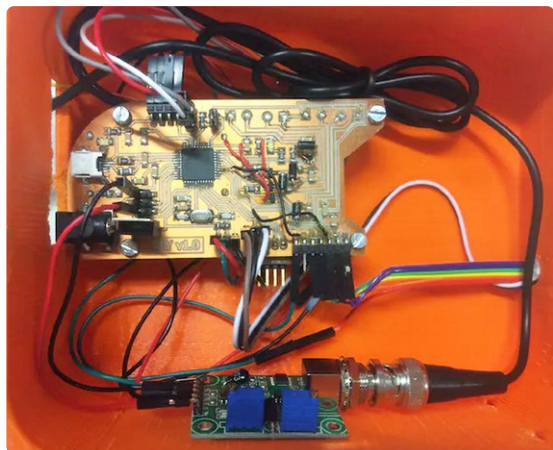
220414-03



Figuur 13. De gaten voor de planthouders.



Figuur 14. De gebruikte RGB LED-strips.



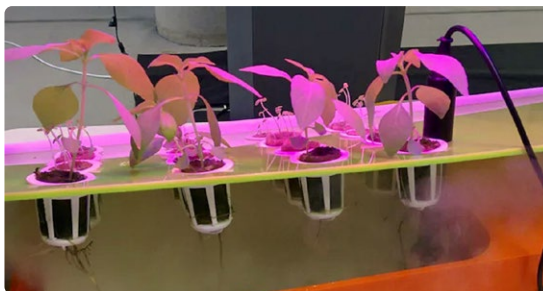
Figuur 15. De print en een sensor in het 'elektronica-compartment'.

Over de auteur

Dmitrii Albot is afgestudeerd aan de Fab Academy en voormalig FabLab-coördinator in Jordanië. Momenteel is hij de oprichter van cityfarm (www.cityfarm.md) en is het zijn missie om de kunst, wetenschap en business van AgriTech naar de steden te brengen.

Vragen of opmerkingen?

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



Figuur 16. De plantjes in hun houders, gezien vanaf de zijkant.



Figuur 17. Het complete systeem in volle glorie.



Gerelateerde producten

Op zoek naar de belangrijkste producten die in dit artikel worden genoemd? Arduino en Elektor hebben ze voor je klaargezet!

- > **ESP-12F – ESP8266-based Wi-Fi Module (SKU 17781)**
www.elektor.nl/17781
- > **Elektor 37-in-1 Sensor Kit (SKU 16843)**
www.elektor.nl/16843

WEBLINKS

- [1] TED Talk: "This computer will grow your food in the future": <http://youtu.be/KJlrd3U1Kxk>
- [2] Fogponics: <https://en.wikipedia.org/wiki/Fogponics>
- [3] Project-website op create.arduino.cc: <https://elektor.link/arduinoigi>
- [4] YouTube-video van mijn testsysteem: <https://youtu.be/LF93Xjd8avk>
- [5] satshakit@GitHub: <https://github.com/satshas/satshakit>
- [6] FabLeo board-gegevens: <https://elektor.link/fableoboard>
- [7] Download fab.lbr-bibliotheek: <https://elektor.link/fablbr>
- [8] 3D-printen van de bakjes (YouTube): https://youtu.be/938Yz_WegH8
- [9] Attribution-ShareAlike 3.0 licentie: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en>
- [10] Foto van pH-sensor v1.1: <https://elektor.link/phsensor11pic>