

Bodemvochtsensoren voor beregeningssystemen

automatische beregening

**Peter Tschulik (Oostenrijk) and
Christof Hübner (Duitsland)**

Voordat je met bodemvochtsensoren aan de slag gaat, kun je de volgende tips over de keuze van sensoren en sensor-integratie overwegen. Als je eenmaal vertrouwd bent met de grondbeginselen, kun je aan de integratie van de sensoren beginnen met de Arduino IDE en boards als de Arduino en ESP.

Al vele jaren gebruik ik automatische beregeningssystemen om het tuinieren gemakkelijker te maken. Mijn eerste systeem bestond uit een eenvoudige tijd klok met goedkope elektromagnetische afsluiters, zoals die in wasmachines gebruikt worden. De volgende generatie was voorzien van een Arduino-board met een display; het kreeg zijn meetgegevens van eenvoudige capacitieve vochtsensoren en hield zelfs een beregeningslogboek bij. Mijn huidige beregeningssysteem is gebaseerd op een ESP32 en is volledig geïntegreerd in mijn huis-automatiseringssysteem. Daarmee kan ik het beregeningssysteem handmatig in werking stellen, de meest recente beregeningstijden bekijken, die tijden en andere parameters instellen – en nog veel meer. Ik hoop dat je je voordeel kunt doen met mijn ervaringen.

De bovenstaande beschrijving is niet helemaal volledig. Er is bijvoorbeeld ook een alarmfunctie die meldt dat een beregeningsbeurt mislukt is door een kapotte slang of zo iets. Het systeem kan ook bediend worden vanuit een webbrowser, en de software kan 'over the air' worden bijgewerkt.

Het beregeningssysteem is echter niet het onderwerp van dit artikel, omdat het op mijn specifieke situatie is afgestemd. In plaats daarvan wil ik mijn ervaring met de keuze van bodemvochtsensoren beschrijven, want daar heb ik in de loop van de jaren veel over geleerd.

Bodemvochtsensoren hebben in een beregeningssysteem twee taken: ze informeren het systeem over de actuele toestand van de beregening, en helpen zo zuinig om te gaan met de watervoorraad. Veel planten zijn even niet bestand tegen een drassige als een droge bodem. Hoewel er een enorm aantal bodemvochtsensoren verkrijgbaar zijn, blijken er slechts enkele echt goed te werken.

Na een kort overzicht van de werkingsprincipes van de meest voorkomende vochtsensoren richt dit artikel zich op de integratie van sensoren met behulp van de Arduino IDE met veelgebruikte boards zoals Arduino of ESP. Als je momenteel een beregeningssysteem zonder sensoren gebruikt of niet tevreden bent over je bodemvochtsensoren, dan ben je hier op de juiste plaats.

Bodemvochtigheid meten

Er bestaat een aantal verschillende definities van bodemvocht. Het volumetrisch watergehalte, dat wil zeggen het percentage water in het totale volume van de bodem, is meestal wat men graag wil weten. Als alle (lucht-)ruimten in de bodem met water gevuld zijn, is het maximale volumetrische watergehalte in natuurlijke grond ongeveer 50 tot 60%. Hogere waarden zijn mogelijk in veen en andere organische materialen. Het gravimetrisch watergehalte heeft betrekking op de relatieve massa van het water in de bodem en kan bijvoorbeeld bepaald worden door een bodemonmonster te wegen voor en na het drogen. Deze parameter moet in een laboratorium gemeten worden, en is dus niet geschikt voor het permanent monitoren van het bodemvochtgehalte.

Elektrische bodemvochtsensoren zijn gebaseerd op allerlei natuurkundige meetprincipes. Het meten van de elektrische geleiding is heel goedkoop, maar helaas niet betrouwbaar omdat de geleiding ook afhangt van de hoeveelheid opgeloste ionen. Bij hetzelfde watergehalte kan een meting van de geleidbaarheid tot geheel verschillende resultaten leiden, afhankelijk van de grondsoort of het zoutgehalte en de meststoffen. De geleiding is ook sterk temperatuurafhankelijk; compenseren hiervoor is in de praktijk vrijwel onmogelijk. Het grootste probleem is echter de corrosie van de sensorelektroden, die vaak maar een paar dagen of weken meegaan.

Capacitieve sensoren met elektroden die door een isolerende laag beschermd zijn, zijn in dit opzicht veel beter. Het meetprincipe berust op de wisselwerking van watermoleculen met een elektrisch veld, want watermoleculen zijn dipolen met positieve en negatieve kant. Als een dipool tussen de elektroden van een plaatcondensator wordt geplaatst en op de metalen elektroden een spanning wordt gezet, zal de dipool zich naar het elektrische veld richten (zie **figuur 1**).

Dit polarisatie-effect wordt beschreven door de diëlektrische constante ϵ_r . De waarde varieert van $\epsilon_r = 1$ voor lucht via $\epsilon_r = 3...8$ voor minerale bodemdeeltjes tot $\epsilon_r = 80$ voor water [1]. De effectieve diëlektrische constante van een bepaalde bodem, bestaande uit een mengsel van lucht, water en bodemdeeltjes, wordt dus grotendeels bepaald door het watergehalte. Als een grondmonster tussen de elektroden van een condensator wordt geplaatst en de resulterende capaciteit wordt gemeten, kan de bijbehorende diëlektrische constante worden berekend en daaruit het watergehalte. In de praktijk wordt een wisselspanning op de elektroden gezet om elektrolyse aan de condensator-elektroden, storingen door oppervlaktepolarisatie en de invloed van de geleiding van de bodem te verminderen. Verhoging van de frequentie van het meetsignaal leidt tot nauwkeuriger resultaten en vermindert de storingsgevoeligheid. Frequenties boven 100 MHz zijn ideaal, maar dat zou de schakelingen aanzienlijk duurder maken.

Geleidbaarheidsensoren

Meetprincipe: het vochtgehalte wordt bepaald door de elektrische geleidbaarheid van de bodem tussen twee elektroden te meten. De sensor wordt meestal geleverd met een analoge schakeling voor de signaalverwerking met een instelbare drempelwaarde (zie **figuur 2**).
Nadelen: de elektrische geleiding van de bodem hangt niet alleen af van het watergehalte, maar ook sterk van het zoutgehalte, de meststoffen

en de grondsoort, en is daarom een onbetrouwbare maat voor het bodemvochtgehalte. De sensor staat bloot aan sterke corrosie in de bodem en heeft bijgevolg een korte levensduur. Dit geldt ook voor elektroden die dun verguld zijn. Bovendien zijn de aansluitklemmen meestal niet beschermd tegen water.

Voordeel: redelijk betaalbaar.

Laagfrequente capacitieve sensoren

Meetprincipe: de bodemvochtigheid wordt bepaald door de capaciteit te meten. De elektronische schakeling werkt bij lage frequenties in een bereik van enkele kHz tot ongeveer 1 MHz. Online zijn veel verschillende versies te vinden, vaak op basis van een NE555 timer IC (**figuur 3**).

Nadelen: door de lage werkfrequentie worden vochtmetingen sterker beïnvloed door andere factoren zoals de elektrische geleiding en de temperatuur van de bodem, zodat de nauwkeurigheid beperkt is. De elektroden zijn vaak alleen beschermd door een dun soldeermasker, dat in de bodem niet lang meegaat. De schakeling en de aansluitklemmen zijn vaak niet waterdicht afgesloten.

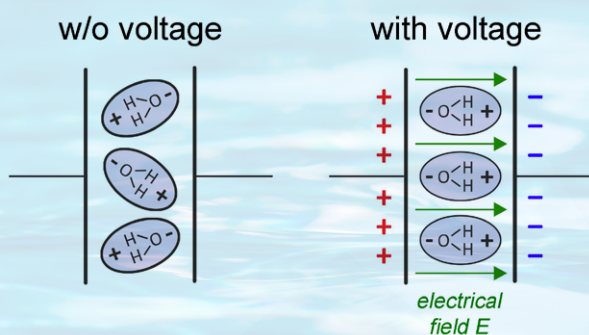
Voordeel: relatief goedkoop.

VH400 hoogfrequente capacitieve sensor

Meetprincipe: de bodemvochtigheid wordt bepaald door de capaciteit te meten.

Nadelen: niet werkelijk goedkoop. De invloed van de grondsoort op de meting is nog merkbaar. De elektroden staan heel dicht bij elkaar, zodat het elektrische meetveld nauwelijks verder reikt dan de print en de sensor voor grofkorrelige bodem minder geschikt is (**figuur 4**). De metingen zijn temperatuurafhankelijk en veranderen zodra de verbindingkabel met de hand aangeraakt wordt [5].

Voordeel: meet de bodemvochtigheid in veel grondsoorten nauwkeurig genoeg.



Figuur 1. Polarisatie van dipool-watermoleculen tussen de platen van een condensator.



Figuur 3. Voorbeeld van een laagfrequente capacitieve sensor (bron: [3]).



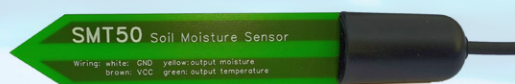
Figuur 2. Een sensor voor geleidingsmeting (YL69 of vergelijkbaar; bron: [2]).



Figuur 4. VH400-sensor (bron: [4]).



Figuur 5. CWT-SOIL-H-S sensor (van AliExpress; bron: [6]).



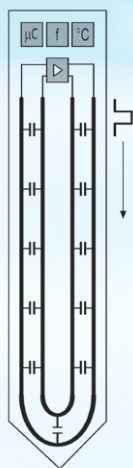
Figuur 6. SMT 50 hoogfrequente capacitieve sensor (bron: [7]).



Figuur 7. DAV-6440-sensor (bron: [8]).



Figuur 8. SMT 100 TDT-sensor (bron: [9]).



Figuur 9. Weringsprincipe van een TDT-sensor. De vochtafhankelijke propagatietijd van de puls in de lusgeleider wordt omgezet in een frequentie.

CWT-SOIL-H-S

Meetprincipe: geen informatie beschikbaar over het meetprincipe of de meetfrequentie.

Nadeel: niet werkelijk goedkoop. Gaat vaak al na korte tijd in de grond kapot.

Voordelen: biedt de mogelijkheid van een aanvullende meting van de elektrische geleiding; diverse uitvoeringen (figuur 5).

SMT 50 hoogfrequente capacitieve sensor

Meetprincipe: de bodemvochtigheid wordt bepaald met behulp van een capacitieve spanningsdeler. De schakeling werkt op 16 MHz of hoger.

Nadelen: niet werkelijk goedkoop. De invloed van de grondsoort op de meting is nog merkbaar.

Voordelen: de meetfrequentie is hoog genoeg voor een betrouwbare vochtmeting in vele grondsoorten. De elektroden zijn in een meerlaags print ondergebracht, wat een goede mechanische bescherming en een lange levensduur in de grond biedt. De schakelingen zijn ingekapseld in epoxy om ze volledig waterdicht te maken (figuur 6). De 10 m lange verbindingskabel met een mantel van polyurethaan is geschikt voor ondergrondse installatie (bestand tegen microben en hydrolyse).

DAV-6440 tensiometer

Meetprincipe: deze Watermark-sensor is een voorbeeld van een tensiometer, die de bodemvochtspanning meet (gerelateerd aan het watergehalte van de bodem). Hiervoor wordt de elektrische weerstand bepaald van een materiaal dat in hydraulisch contact staat met de bodem (figuur 7). Andere tensiometrische sensoren gebruiken niet-geweven materiaal dat met de grond in contact komt en het watergehalte ervan bepaalt door elektrische verwarming terwijl de temperatuur wordt geobserveerd (bijvoorbeeld Gardena-sensoren).

Nadelen: tensiometers zijn traag en reageren langzaam op veranderende bodemvochtigheid. Er is een zekere hysteresis, waardoor bij dezelfde bodemvochtspanning verschillende meetresultaten mogelijk zijn (bij stijgend versus dalend watergehalte). Onder zeer droge omstandigheden kan de sensor het hydraulische contact met de bodem verliezen. De opgegeven levensduur van deze sensor in de grond is ten minste 5 jaar, wat niet bijzonder lang is.

Voordeel: de bodemvochtspanning geeft aan hoeveel bodemvocht voor de planten beschikbaar is.

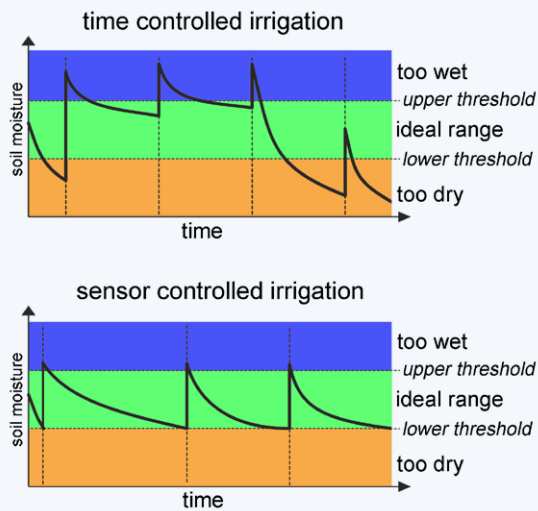
SMT 100 TDT-sensor

Meetprincipe: deze time domain transmission-sensor (TDT) bestaat uit lusvormige geleiders die een hoogfrequente transmissielijn vormen waar pulssignalen doorheen worden gestuurd (figuur 8 en figuur 9). Een teruggekoppelde versterker fungeert als ringoscillator; de frequentie ervan wordt gemeten door een microcontroller. De capaciteit tussen de elektroden wordt beïnvloed door het vochtgehalte van de bodem. Hoe hoger het vochtgehalte, hoe langer de pulspropagatietijd en hoe lager de frequentie van de ringoscillator.

Nadeel: hogere prijsklasse.

Voordelen: de meetfrequentie bedraagt meer dan 150 MHz, wat een hoge nauwkeurigheid met een goede resolutie mogelijk maakt, gecombineerd met een minimale invloed van de grondsoort op de meting. Dankzij een meerlaags print met epoxy inkapseling en een hoogwaardige kabel heeft de sensor een lange levensduur in de bodem. Er is

Beregeningsstrategie



Vergelijking van tijdgestuurde en sensorgestuurde beregening.

Conventionele tijdgestuurde beregening sproeit in vaste tijdsintervallen, ongeacht de werkelijke behoefte aan water. Het kan dus leiden tot overberegening met een schadelijk teveel aan water of tot onderberegening en uitdroging, afhankelijk van de weersomstandigheden. Dit kan worden tegengegaan door een regensensor of online-weersinformatie te gebruiken. Sensorgestuurde beregening is veel beter. Die maakt niet alleen een optimale watertoevoer naar de planten mogelijk, maar vermindert ook het waterverbruik. De verschillen zijn in de grafiek zichtbaar.

Er zijn verschillende strategieën om de grenswaarden vast te stellen. Een ervaren tuinier kan het begin van uitdroging herkennen door de planten te observeren (lichte verwelking, omrollen van bladeren). Overmatig water geven leidt tot verzadiging, zonder dat de bodemvochtigheid verder toeneemt. Als je even wacht (ongeveer 24 uur), zal het overtollige water in de ondergrond wegllopen. Als vuistregel kun je de ondergrens op 60% van het verzadigingsniveau stellen. Observeer tijdens de inregelfase de planten samen met de vochtigheidstrend en stel de grenswaarden zo nodig bij om op lange termijn een optimale en zuinige automatische beregening te krijgen. Het is belangrijk de sensor goed in het wortelgebied van de planten te plaatsen. Om met druppelirrigatie een goede bodemvochtcyclus te verkrijgen, mag de sensor niet te ver weg van of te dicht bij de irrigatieplek worden geplaatst.

een ruime keuze aan interfaces, waaronder analoog, RS-485 (TBUS/ASCII en Modbus), SDI-12 en 4-20 mA.

De SMT 100 sensor wordt vaak gebruikt voor professionele doeleinden (precisie landbouw of wetenschappelijke toepassingen in hydrologie en bodemkunde).

Integratie van sensoren in beregeningssystemen

Zoals eerder vermeld hebben goedkope sensoren analoge interfaces; alleen de duurdere hebben digitale interfaces. Eenvoudige analoge sensoren kunnen gemakkelijk in de Arduino IDE worden geïntegreerd zonder extra bibliotheken. Alles wat je nodig hebt is een analoge ingang. In het onderstaande voorbeeldprogramma wordt pin A0 van een Arduino Uno gebruikt.

```
int SENSOR_PIN = A0; /* select analog pin */
int SENSOR_VAL = 0; /* variable storing sensor value */
void setup()
{
    Serial.begin(9600); /* setup serial connection */
}
void loop()
{
    /* read value */
    SENSOR_VAL = analogRead(SENSOR_PIN);
    Serial.println(SENSOR_VAL); /* output value */
}
```

Hoogwaardige sensoren, zoals de CWT-SOIL-H-S of de SMT 100, hebben digitale interfaces. In mijn systeem zijn beide sensoren aangesloten via een Modbus RS-485 interface. De voordelen van deze verbinding liggen voor de hand: lange kabeltrajecten (tot 100 m van de sensor naar de besturingsunit) zijn geen probleem, en de gegevensoverdracht is immuun voor storingen. Bovendien kunnen veel sensoren via dezelfde interface worden aangesloten.

De CWT-SOIL-H-S sensor werkt in principe goed, maar in mijn systeem hielden twee sensoren er na twee jaar gewoon mee op of begonnen onrealistische waarden te leveren. De bijgeleverde gebruiksaanwijzing is weliswaar begrijpelijk, maar de daar beschreven configuratietool is online moeilijk te vinden en is alleen in het Chinees. Daarom wordt hieronder alleen de integratie van de SMT 100 besproken.

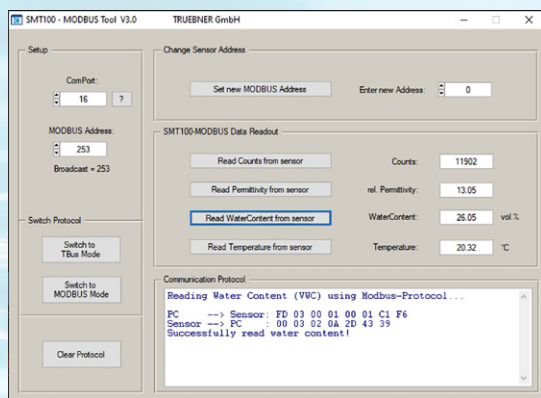
Eerst enkele opmerkingen over RS-485 en Modbus. RS-485 is een differentiële seriële interface met twee lijnen die gegevens in differentiële modus zendt, wat common-mode storingen onderdrukt en de signaal/ruis-verhouding verbetert ten opzichte van RS-232. Robuuste verbindingen tot 100 m lang kunnen met eenvoudige niet-afgeschermde twisted-pair kabels worden gerealiseerd. Modbus is een client/server-communicatieprotocol, dat in 1979 ontwikkeld werd voor communicatie met programmeerbare logische controllers. Dit open protocol is een geaccepteerde industriestandaard geworden. Alle technische documenten zijn vrij verkrijgbaar bij [10]. Elke node heeft in principe een uniek adres.

Sensoren configureren

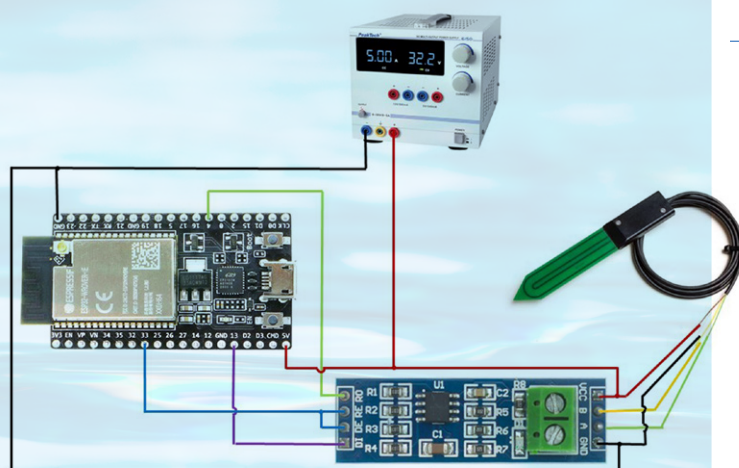
Voor de eerste experimenten met de SMT 100 is het raadzaam een USB/RS-485-bridge of een PCIe RS-485-kaart te gebruiken, zodat de sensor rechtstreeks met een laptop of desktop computer kan communiceren. Ik gebruik een goed gedocumenteerde USB-adaptor op basis van een FTDI-IC.

Een heel handig Modbus-configuratieprogramma kun je downloaden van de website van de fabrikant van de sensor [11]. Na het uitpakken en installeren ga je als volgt te werk om de RS-485-versie van de sensor op de RS-485-interface aan te sluiten: de witte draad van de sensorkabel is massa, de groene draad is RS-485 A, en de gele draad is RS-485 B. Op de bruine draad moet een voedingsspanning in een bereik van +4 V tot +24 V (ten opzichte van massa) aangesloten worden.

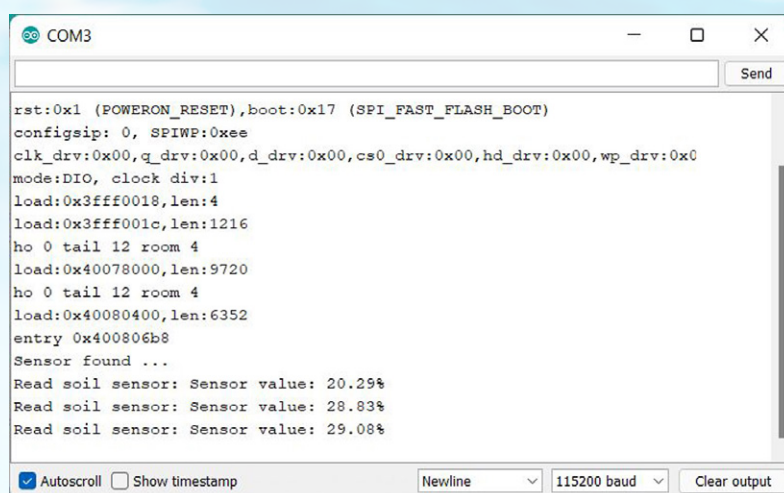
Na het starten van het Modbus-tool moet je eerst de COM-poort selecteren. Als je een USB-adaptor gebruikt en er wordt geen poort getoond, moet je het juiste stuurprogramma installeren. Als alles in orde is, verschijnt het scherm van **figuur 10**.



Figuur 10. Modbus-testprogramma voor de SMT 100-sensor.



Figuur 11. Testopstelling met een SMT 100-sensor en een ESP32.



Figuur 12. Weergave in de seriële monitor van de Arduino IDE.

Nu kun je de afzonderlijke parameters uitlezen of het Modbus adres veranderen. Standaard is de sensor toegankelijk op adres 253 (Broadcast). Als je meerdere sensoren wilt aansluiten, moet elke sensor een uniek adres hebben. In het voorbeeldprogramma wordt het Modbus-adres op 1 gezet met de instructie **Set new MODBUS Address**. Voor de zekerheid kun je de communicatie controleren via adres 1, waarvoor links **Modbus Address** op 1 gezet moet zijn. Let erop dat bij het instellen van het adres slechts één sensor tegelijk op de bus mag worden aangesloten

Testprogramma

Laten we nu eens kijken hoe zo'n sensor in een berekeningssysteem kan worden geïntegreerd. De proefopstelling is te zien in **figuur 11**. Samen met de gemakkelijk verkrijgbare ESP32-DEV-Kit bestaat deze uit een kleine printplaat die het RS-485-signaal van de sensor omzet in TTL-niveaus die geschikt zijn voor de microcontroller. Aansluiting DI is een seriële ingang voor gegevensoverdracht van de ESP32 naar de sensor. RO ontvangt gegevens van de ESP32 die naar de sensor gestuurd worden. DE en RE zijn hier met elkaar verbonden. Als deze laag worden gemaakt, schakelt de ontvanger in het MAX485-IC in,

en als ze hoog zijn, schakelt de MAX485-zender in.

Laten we nu eens kijken naar het testprogramma [12]. Het eerste deel (vóór de setup-routine) definieert de pinnen en de variabelen voor de sensoren. In de setup-routine wordt de pin voor het schakelen van de zender/ontvanger geïnitieerd, de standaard seriële interface wordt gedefinieerd als de debug-interface, de seriële interface naar de sensor wordt geïnitieerd als 'Hardware Serial Interface 2' en een subroutine controleert of de sensor goed is aangesloten.

In de hoofdloop van het programma wordt de sensor om de drie seconden uitgelezen door de subroutine **SUB_RECEIVE_HUMIDITY**, en het resultaat wordt op de uitgang gezet. Het opvragen van de sensorwaarden wordt afgehandeld door drie subroutines: **SUB_CHECK_HUMIDITY** controleert het ontvangen sensoradres op juistheid om na te gaan of een sensor is aangesloten, **SUB_RECEIVE_HUMIDITY** haalt de sensorwaarde op, en **SUB_CALCULATE_CRC** berekent de CRC-checksum. De complete en uitvoerig becommentarieerde voorbeeldcode kan gratis worden gedownload van [12]. Als de uitvoer op het scherm van de seriële monitor lijkt op die van **figuur 12**, werkt alles goed. 

210684-03

Vragen of opmerkingen?

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



GERELATEERDE PRODUCTEN

- **ESP-C3-12F-Kit Development Board with Built-In 4 MB Flash (SKU 19855)**
www.elektor.nl/19855
- **MakePython ESP32 Development Kit (SKU 20137)**
www.elektor.nl/20137
- **Bundle: Getting Started with ESPHome + LILYGO TTGO T-Display ESP32 (16 MB) (SKU 19896)**
www.elektor.nl/19896

WEBLINKS

- [1] C. Hübner, U. Kaatz, Electromagnetic moisture measurement, Universitätsverlag Göttingen: <https://doi.org/10.17875/gup2016-958>
- [2] YL69-geleidingssensor: <https://bit.ly/YL69-soil-sensor>
- [3] Capacitieve sensor: <https://bit.ly/cap-sensor>
- [4] Vegetronix VH400: www.vegetronix.com/Products/VH400
- [5] Vergelijking van sensoren (Duitstalig): <https://bit.ly/SMT50-vs-VH400>
- [6] CWT-SOIL-H-S sensor:
<https://de.aliexpress.com/item/1005001524845572.html>
- [7] SMT 5- sensor: www.truebner.de/en/smt50.php
- [8] DAV-6440-sensor: <https://bit.ly/DAVIS6440>
- [9] SMT 100-sensor: www.truebner.de/en/smt100.php
- [10] Modbus: <https://modbus.org>
- [11] SMT 100 Modbus-tool:
www.truebner.de/download/ModbusTool_Installer_V3.zip
- [12] Voorbeeldcode: www.elektormagazine.com/210684-01

Advertentie

Ontwikkelingstools op één plaats

Duizenden tools van honderden
vertrouwde fabrikanten



Maak een keuze uit onze
uitgebreide selectie op
nl.mouser.com/dev-tools

