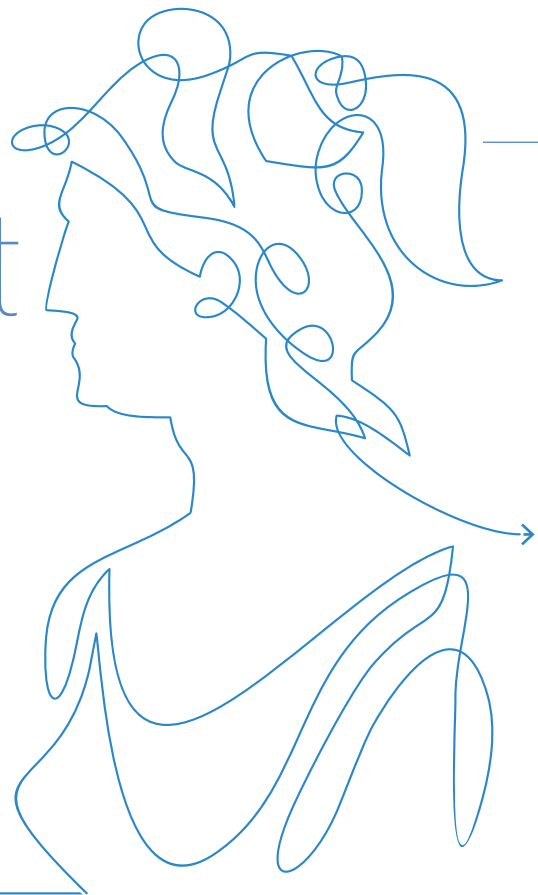


Ontwerpen met de SparkFun Artemis



Nathan Seidle (SparkFun)



De Artemis-module is 's werelds eerste open-source hardware RF-module die zowel spraakherkenning als BLE mogelijk maakt. Het is verrassend hoeveel rekenkracht kan worden verpakt in 10×15 mm! Deze tutorial leidt u door de beschikbare functies van de SparkFun Artemis-module en de basisprincipes van het integreren van de Artemis in uw eigen project!

Jarenlang was SparkFun terughoudend om een product volledig FCC-gecertificeerd te krijgen. Het proces leek altijd onbekend en onbetaalbaar. Over de FCC-eisen voor producten en hobbyprojecten hebben we al eerder geschreven, maar met de ontwikkeling van de SparkFun Edge en de komst van Artemis was het duidelijk dat het tijd werd dit onbekende terrein te betreden. Al in oktober 2018 werden we voorgesteld aan de mensen van TensorFlow met het doel een low-power board te maken met de nieuwe Apollo3 van Ambiq. Na een vluchtige blik op de datasheet was duidelijk dat dit IC even uitdagend als opwindend was! Eén MB flash, bijna 400 K RAM en een uitzonderlijk lage vermogensopname lieten ons dromen van mogelijkheden voorbij aan de oude Uno. Tegelijkertijd betekende een BGA met 81 aansluitingen in een 0,5mm-raster dat we onze PCB-competenties moesten opwaarderen. De uitda-

gingen waarmee we werden geconfronteerd (en die we moesten oplossen) zijn verteld in een blog uit 2019, te vinden op www.sparkfun.com/news/3122. Maar voordat we het over Artemis gaan hebben, raden we u aan deze tutorials te bekijken.

- **PCB Basics.** Wat is precies een PCB? In deze tutorial wordt een overzicht gegeven van wat een PCB is en van enkele veelgebruikte termen die in de PCB-wereld worden gebruikt. [1]
- **Using EAGLE: Board Layout.** In deel 2 van de Eagle tutorials wordt beschreven hoe u een print moet lay outen na het ontwerpen van een schema. [2]
- **Bluetooth Basics.** Een overzicht van de draadloze Bluetooth-technologie. [3]
- **ARM Programming.** Hoe programmeert u SAMD21- of SAMD51-boards (of andere ARM-processoren). [4]

Overzicht van de hardware

In deze paragraaf bekijken we de technische details van Artemis, inclusief de footprint en de elektrische eigenschappen. Als u al een board met de Artemis-module bezit, kunt u deze paragraaf overslaan en bij *Unieke eigenschappen* verder lezen. Maar wanneer hebt u voor het laatst zo'n module van binnen gezien? Kijk maar eens naar **figuur 1**.

Apollo3

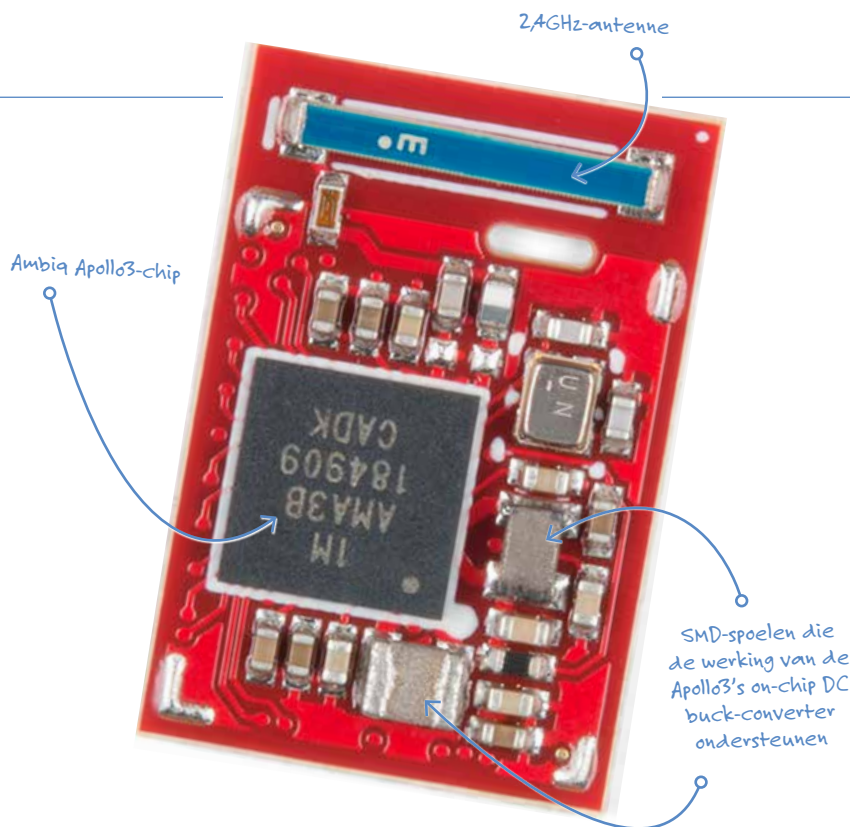
Het hart van de Artemis-module is de Apollo3 van Ambiq [5]. Dit is een ARM Cortex-M4F (de F staat voor hardware floating point-bewerkingen) met 1 M flash en 384 K RAM. De datasheet is te vinden op [6].

BLE-antenne

De Apollo3 heeft een ingebouwde Bluetooth 5.0-radio en de module heeft een ingebouwde 2,4GHz-antenne met 2 dB_i versterking.

DC-converter aan boord

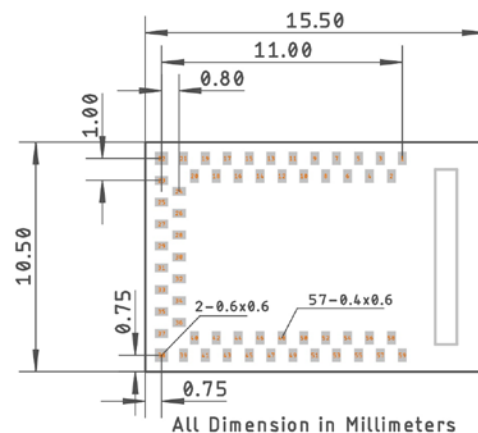
De Apollo3 kan werken van **3,6 tot 1,8 V**. Om zo'n groot bereik mogelijk te maken heeft de Apollo3 twee ingebouwde DC-buck-converters, die de VCC-ingang omlaag regelen tot de core-spanning, met een rendement van meer dan 80%. De Artemis-module heeft twee spoelen om een minimaal stroomverbruik mogelijk te maken.



Figuur 1. Een kijkje in de Artemis, na verwijdering van de afscherming.



Figuur 2. Artemis is werkelijk heel klein en licht.



Figuur 3. Aanbevolen SMD-footprint voor de Artemis-module, bovenaanzicht.

Afmetingen

De Artemis-module meet $15,5 \times 10,5 \times 2,3$ mm en weegt 0,6 gram (figuur 2).

Aanbevolen footprint

De aanbevolen print-layout voor de module is afgebeeld in **figuur 3**. Raadpleeg de *Artemis Integration Guide* [7] voor specifieke afmetingen en overwegingen. Als u de print met EAGLE ontwerpt, kloont u gewoon een van onze open-source hardware-ontwerpen die gebruikmaken van Artemis (RedBoard [8], RedBoard Nano [9] en RedBoard ATP [10]) en begint u met de layout van uw print! Ter referentie is het achteraanzicht van de Artemis afgebeeld in **figuur 4**.

De Apollo3 is een krachtig IC, maar de 0,5-mm BGA-behuizing vereist een 4-laags print met verborgen epoxy gevulde via's. Dit maakt de printen duur en moeilijk te produceren. We hebben Artemis ontworpen om u van deze zorgen te verlossen.

Een print met Artemis (**figuur 5**) kan in twee lagen met 8 mil ruimte tussen de sporen. Routing onder de module is toegestaan. Houd alle massastromen uit de buurt van het antennengebied. Als daar de ruimte voor is, kan de antenne buiten de rand van de print uitsteken voor een betere ontvangst.

Unieke eigenschappen

Er is een ongelooflijk aantal functies in Artemis opgenomen. We geven hier een overzicht, maar bekijk ook de voorbeelden in de Arduino-core en de Ambiq SDK om er meer over te weten te komen.

Pin-flexibiliteit

De Artemis-module heeft 48 GPIO-pads met interrupt-mogelijkheid plus nog een heleboel periferie. De twee hardware-UART's kunnen worden toegewezen aan een reeks verschillende pads, en er zijn 16 volledig onafhankelijke PWM-uitgangen. Een geavanceerde high-speed 14-bit ADC is aangesloten op 10 pads. Gebruik ofwel SPI ofwel I²C-masters die beschikbaar zijn op 6 pad-sets.

En dat is nog niet alles – PDM, SSC en DMA zijn ook beschikbaar met behulp van de HAL. Bekijk de pin-functiekaart [11], het Apollo3-datablad [12] en de Ambiq SDK/HAL [13] voor meer informatie. Maar geen angst, we hebben veel voorbeelden die laten zien hoe u alle verschillende poorten en pinnen kunt gebruiken.

Cortex-M4F

De Artemis heeft de Apollo3 van Ambiq als hart. Dit IC maakt op zijn beurt gebruik van een ARM Cortex-M4F op 48 MHz (met een optionele 96-MHz burst-mode). De krachtige kern kan worden geprogrammeerd met zowel GCC als Keil en IAR; debuggen is mogelijk met een verscheidenheid aan moderne JTAG tools. [14]



Figuur 4. Onderzijde van de Artemis-module.



Figuur 5. Voorbeeld van Artemis op een PCB-layout.

Surf mee op de Artemis-wave

Bezoek deze webpagina's om een indruk te krijgen van de ontwikkeling en marktpositie van de Artemis:

Creating Artemis:

www.sparkfun.com/news/3122

Creating an RF Shield:

www.sparkfun.com/news/3123

Getting a Module FCC Certified:

www.sparkfun.com/news/3124

Persbericht:

<https://bit.ly/3b2Zpd7>

Creating an RF Shield blog:

<https://www.sparkfun.com/news/3123>

Ecosystem Page:

<https://www.sparkfun.com/artemis>

Artikel van Hackster:

<https://bit.ly/38XR0i>

BLE

Artemis heeft een ingebouwde Bluetooth 5.0-radio die met maximaal 4 dBm kan zenden, waardoor een bereik van ongeveer 70 m haalbaar zou moeten zijn. We hebben zelf succesvolle RSSI-checks gezien op meer dan 70 m.

PWM

Met 31 van de 48 pinnen waarop die PWM mogelijk is, moet u in elk geval genoeg hebben! Controleer de grafische datasheet [15] en de pinbeschrijving om te zien welke pinnen PWM-mogelijkheden hebben.

Interrupts

Elke pin kan worden geconfigureerd als een interrupt die de processor uit deep-sleep kan wekken. Bovendien hebben alle pinnen (behalve 20) een interne pull-up die softwarematig kan worden ingeschakeld.

14-bit ADC

Terwijl de oorspronkelijke Uno een 10-bit converter bezat, heeft Artemis een 14-bit ADC – wat betekent dat de nauwkeurigheid geen 0...1023 bedraagt maar 0...16.383. Hierdoor kunnen analoge sensoren (bijvoorbeeld voor buiging, licht en geluid) nauwkeuriger worden uitgelezen. Merk echter op dat de ADC spanningen van 0...2 V verdraagt. Als u een sensor hebt met 0...3,3V-uitgangen, dan gaat er niets kapot maar zal de ADC vanaf 2 V verzadigd zijn. Gebruik de functie `.setResolution` om de resolutie van de meetwaarden te veranderen van de standaard 10 naar 14 of ergens daartussenin. Bovendien is de ADC

veel sneller (tot 1,2 MS/s) waardoor meer gegevens kunnen worden verzameld.

Laag vermogen

Ambiq, de fabrikant van de Apollo3, heeft jarenlang onderzoek gedaan naar iets wat zij Sub-threshold Power Optimized Technology (SPOT™) noemen. Dit is een mooie naam voor een energiebesparende techniek die werkt door het verlagen van de logische spanningen die nodig zijn om een 1 of een 0 aan te geven. Door dit op silicium-niveau te doen, is Ambiq erin geslaagd om een 48MHz-processor te realiseren die op minder dan een halve mA draait! De 'Always-on'-bewaking van spraakcommando's, zonder de noodzaak van BLE of een verbinding met het internet, verbruikt ongeveer 6 µA/MHz.

als u hem nodig hebt, dan helpt hij u uit de brand.

PDM

Een van de fraaiste toepassingen van de Artemis is de 'always-on' spraakherkenning. Digitale MEMS-microfoons zijn gevoeliger en gemakkelijker te gebruiken dan hun analoge voorgangers. Artemis heeft een ingebouwde PDM-poort waardoor tot 2 MEMS-microfoons kunnen worden gebruikt – tweekanaals of in richtinggevoelige applicaties.

Interne pull-ups

Elke pin heeft een interne weak pull-up die softwarematig kan worden ingesteld. Bovendien hebben de pinnen die geconfigureerd zijn als I²C-poorten, softwarematig selecteerbare pull-ups (1,5 kΩ, 6 kΩ, 12 kΩ,



In het beste geval verliep de overgang van prototype naar eindproduct stroef – Artemis verandert dat door één enkele module te bieden van prototype naar productie. Voeg daarbij de kracht van het TensorFlow® machine learning-platform en de Apollo3-microcontroller van Ambiq®, en je hebt een tool waarmee bijne alle engineers willen spelen.

Nathan Seidle, SparkFun-oprichter en engineer

Burst-modus

Soms is 48 MHz niet genoeg. De processor heeft de mogelijkheid om een 96-MHz burst-modus in te schakelen waardoor interne berekeningen en monitoring in de helft van de tijd kunnen worden uitgevoerd.

Let op: externe pinbewerkingen zijn beperkt tot 48 MHz.

JTAG

Moderne rekenkracht vraagt om moderne debugging-tools. Artemis is gebaseerd op een Cortex-M4F die een aparte JTAG-poort heeft voor debugging. Met een JTAG-debugger kunt u breakpoints zetten, registers inspecteren en zien welke assembly- en C-instructies worden uitgevoerd. Het is een tool die u niet vaak nodig hebt, maar

24 kΩ) waardoor er geen externe SDA- en SCL-pull-ups meer nodig zijn.

Uitgangsstroom van de pinnen

Een van de meer unieke kenmerken van Artemis is de mogelijkheid om de uitgangsstroom van alle afzonderlijke GPIO's te kunnen kiezen: 2, 4, 8 of 12 mA als maximale uitgangsstroom van een bepaalde pin. Bovendien zijn pads 3 en 36 voorzien van selecteerbare high-side vermogensschakeltransistoren als ~1Ω-schakelaars naar VDDH. Pads 37 en 41 hebben selecteerbare low-side vermogensschakeltransistoren als ~1Ω-schakelaars naar VSS.

Beveiliging

De Cortex-M4F in de Artemis bevat meerdere beveiligingslagen, waaronder



FCC/IC/CE-certificering! De Artemis-module van SparkFun heeft de goedkeuring van de Federal Communications Commission (FCC), Industry Canada (IC) en Conformité Européenne (CE) gekregen en is daarmee de eerste open source, in de VS vervaardigde, FCC/IC/CE-gecertificeerde BLE-module op de markt. Met deze certificering stelt de Artemis-module productontwerpers in staat om van prototype tot productie dezelfde module te gebruiken en verhoogt het de toegankelijkheid van low-power machine learning voor elk ontwerp.

Secure Boot, OTA, Keystorage en inline encryptie/decryptie van externe flash (zoals een SD-kaart).

Programmeren

Artemis kan geprogrammeerd worden via de standaard JTAG-interface of met een seriële bootloader. Er is een USB-aansluiting voor serieel bootloaden met de CH340 [16] (figuur 6), of een JTAG-footprint voor meer geavanceerde programmering en debugging, op diverse devboards van SparkFun. Voor meer informatie over ARM-programmering, inclusief JTAG-interfaces verwijzen we naar onze *ARM Programming Tutorial* [17].

SparkFun Bootloader

We hebben een bootloader met flexibele baudrate ontworpen die bij elke power-on reset wordt uitgevoerd. Wat betekent *flexibele baudrate* precies? De computer en de bootloader starten de communicatie met 9600 bps en gaan dan akkoord met een snellere baudrate om het leeuwendeel van de binaire gegevens over te dragen. Dit maakt uploadsnelheden tot 921600 bps mogelijk, waardoor de uploadtijd aanzienlijk wordt verkort. Met een flexibele snelheid kunnen computersystemen die problemen hebben met hogere snelheden, die snelheid selecteren die het beste werkt. Deze bootloader is de voorkeursmethode voor het uploaden van sketches en gebruikerscode wanneer nieuwe code snel en betrouwbaar in de Artemis moet worden geladen.

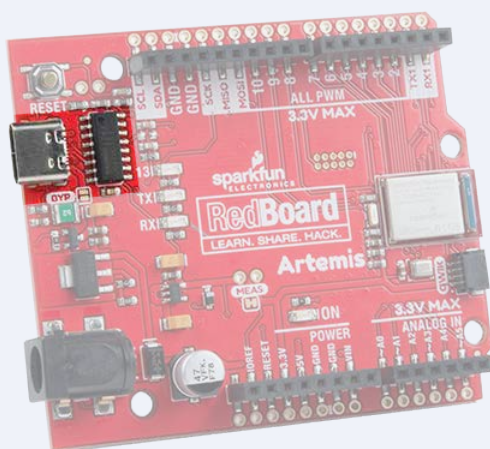
Als u eenmaal een Artemis-targetboard hebt gekozen, verschijnen er de volgende keer dat u het Tools-menu opent extra opties. Met de **SVL Baud Rate**-opties (figuur 7) kunt u de uploadsnelheid wijzigen. 921600 bps is de aanbevolen snelheid omdat sketches dan extreem snel kunnen worden bijgewerkt. Er zijn echter enkele platformen (Linux-distributies) waar de standaard CH340 USB-to-serial drivers niet goed werken bij snelheden groter dan 115200. Als u dus tegen upload-problemen aanloopt, kunt u overwegen om de upload-snelheid te verminderen. Voor

meer informatie over upload-problemen verwijzen we naar het forumbericht op [18]; u kunt ook een upgrade met drivers voor Mac OSX [19] of Linux [20] overwegen. Net als de klassieke Arduino Uno, Arduino Mega enzovoort wordt de bootloader geactiveerd door het board te resetten. Een enkele 0,1µF-condensator tussen DTR en reset is alles wat nodig is om Artemis te laten resetten en de bootloader-modus in te schakelen. Als er binnen korte tijd (50 ms) geen nieuwe firmware wordt gedetecteerd, wordt de gebruikerscode uitgevoerd. Wanneer u geïnteresseerd bent in elektrotechnische discussies over zaken als bootloaders, kunt u meer lezen over de Artemis-bootloader op [21].

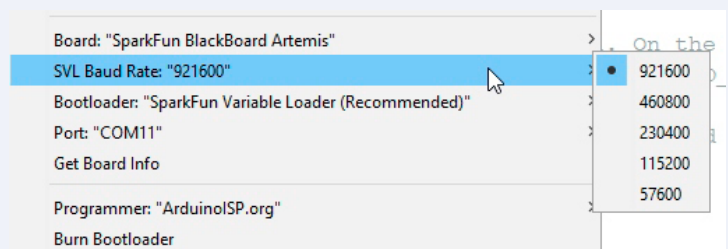
Factory bootloader

Naast de SparkFun Artemis bootloader, programmeren wij elke Artemis ook met de Ambiq factory Secure Bootloader (SBL). Deze bootloader kan het beste worden gebruikt voor low-level updates van apparaten waar veiligheid voorop staat. De bootloader wordt geactiveerd bij een reset als pin 47 hoog is, en communiceert op 115200. De bootloader wacht dan voor onbepaalde tijd op nieuwe binaire gegevens. We leveren een python-tool en een .exe om te communiceren met deze bootloader.

Deze manier van bootladen is anders dan die u misschien gewend bent. De



Figuur 6. USB-connector op RedBoard Artemis, voor de CH340-gebaseerde serial bootloading.



Figuur 7. Upload uw sketch snel met SVL Baudrate op 921600.



STK500-bootloader die op de meeste ATmega328-gebaseerde Arduino's draait, wordt automatisch uitgevoerd bij het resetten; na een timeout wordt de code van de gebruiker uitgevoerd. De Artemis-bootloader is vergelijkbaar, maar vereist een extra pin (de Bootload-pin) die hoog moet worden gehouden. Om het gebruik van Artemis zo goedkoop en gemakkelijk mogelijk te maken, hebben we een eenvoudige RC-schakeling ontworpen die in uw ontwerp kan worden geïmplementeerd met behulp van USB/serieel-IC's met de minimale stuurpinnen (de CH340E heeft alleen RTS) en die toch de mogelijkheid biedt om de factory bootloader te activeren. Als u vermoedt dat u de SparkFun Artemis Bootloader (hierboven beschreven) moet aanpassen of als u de beveiligde bootloader-toolchain moet gebruiken, kan de schakeling van **figuur 8** worden gebruikt om te booten met een enkele pin (DTR of RTS wordt ondersteund).

Geen angst! U beschadigt de Artemis er niet mee, maar met behulp van de Ambiq Secure Bootloader-tools zal de SparkFun-bootloader worden overschreven, waardoor de snellere upload-mogelijkheden verloren gaan. Wij raden het gebruik van de Ambiq Secure Bootloader niet aan voor algemene Arduino-programmering (**figuur 9**).

Velen leden van onze community hadden – en hebben – moeite om hun product op de markt te brengen. Er moeten veel hindernissen en complicaties worden overwonnen – en dit is voor ons een manier om te helpen. Het idee van Artemis is om makers te helpen grote innovaties sneller op te schalen.

Glenn Samala,
SparkFun CEO

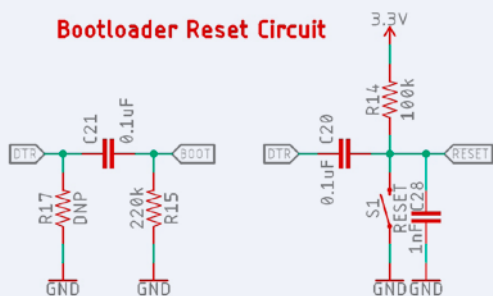
Om nieuwe code naar uw Artemis-module te laden met behulp van de Ambiq bootloader-toolchain selecteert u de Ambiq Secure Bootloader-optie in het menu Arduino Tools -> Bootloader. Deze tools passen uw binaire code aan en voorzien deze van verschillende beveiligingsheaders. De code wordt geladen met 115200 bps. Mocht het proces mislukken, druk dan nogmaals op uploaden.

Werking van de single-pin RC-schakeling

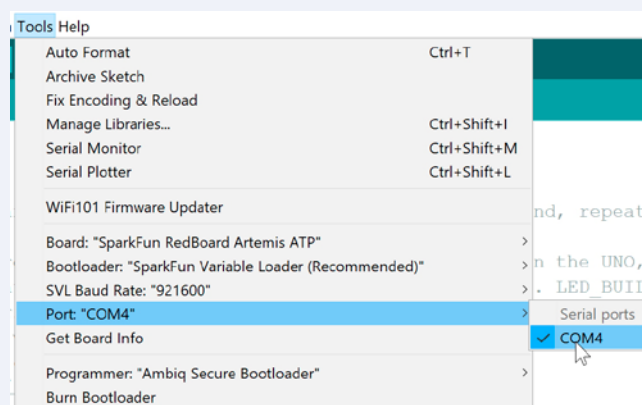
Door DTR (of RTS) laag te maken, wordt de module gereset. Na 10 ms wordt DTR door de software hoog gemaakt. Dit zorgt ervoor dat de bootload-pin hoog is gedurende 100 ms, waardoor de bootloader kan draaien. Het openen van een seriële poort zorgt ervoor dat DTR laag wordt, waardoor de module wordt gereset, maar omdat DTR laag blijft tijdens normale seriële operaties gaat de module niet in de SBL-modus en draait in plaats daarvan de SparkFun Artemis Bootloader.

We hebben het Ambiq python bootloader-tool aangepast zodat zowel DTR als RTS tegelijkertijd en op dezelfde manier worden aangestuurd, zodat u zowel RTS als DTR kunt gebruiken om Artemis te booten. Onze Ambiq SBL-tools [22] maken vervolgens DTR/RTS hoog om de factory bootloader te starten.

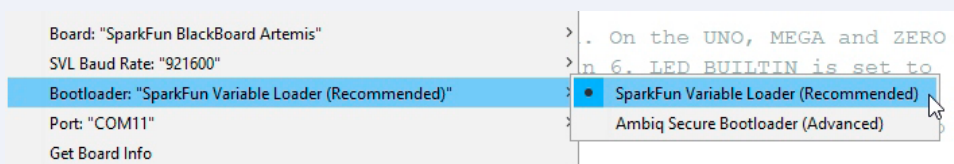
Als u dat wilt, kan de bootload-pin aan een knop worden toegewezen. Als de gebruiker de knop indrukt en het board reset, gaat de Artemis in de bootload-modus en blijft daar tot een bootload-cyclus is voltooid of een reset plaatsvindt. Deze methode werkt goed, maar vereist interactie van de gebruiker telkens als er nieuwe code moet worden geladen.



Figuur 8. Deze single-pin, reset/bootload oplossing voor Artemis is ideaal voor elke USB/serieel-implementatie met besturingspinnen (CH340, CP210x, FT232 enzovoort).



Figuur 10. Keuze van de COM-poort.



Figuur 9. Selecteer de Ambiq Secure Bootloader niet, tenzij u weet wat u doet.



Troubleshooting

Hulp nodig? Als uw product niet werkt zoals u verwacht of als u technische hulp of informatie nodig hebt, ga dan naar de SparkFun Forums [24] – dit is een geweldige plek om hulp te vragen én te vinden. Bij uw eerste bezoek moet u een Forum Account [24] aanmaken om de productforums te doorzoeken en vragen te plaatsen. Weblink [25] brengt u direct naar de SparkFun Artemis Forums.

Q. Ik heb per ongeluk de Ambiq bootloader gebruikt. Nu werkt de SparkFun Variable Loader niet. Wat moet ik doen?

A. Kan gebeuren –u laadde uw code met de Ambiq-bootloader zoals we in **figuur 9** lieten zien. Dat kan verder geen kwaad. Om uw module opnieuw te laden met de SparkFun SVL-bootloader gaat u als volgt te werk:

Stap 1: kies de juiste print en COM-poort in Arduino.

Controleer nogmaals of u de juiste print en COM-poort hebt geselecteerd in het Tools-menu. In **figuur 10** is COM 4 te zien, maar uw COM-poort kan een andere zijn.

Stap 2: selecteer Burn Bootloader in het Tools-menu.



Gerelateerde producten

Bent u op zoek naar de belangrijkste producten die in dit artikel genoemd zijn? Elektor en SparkFun staan voor u klaar!



SparkFun Artemis Module - Low Power Machine Learning BLE Cortex-M4F



SparkFun RedBoard Artemis



SparkFun RedBoard Artemis Nano



SparkFun RedBoard Artemis ATP



SparkFun OpenLog Artemis



SparkFun Edge Development Board - Apollo3 Blue

www.elektormagazine.nl/esfe-en-artemis



Artemis-ontwikkeling met Arduino

Met de krachtige Artemis-gebaseerde boards (RedBoard Artemis, RedBoard Artemis Nano en RedBoard Artemis ATP) laat u in minder dan 5 minuten een LED knipperen met behulp van de SparkFun Artemis Arduino Core!
<https://learn.sparkfun.com/tutorials/artemis-development-with-arduino>



Aansluitgegevens voor RedBoard Artemis

Ga aan de slag met RedBoard Artemis – alle functionaliteit van de SparkFun Artemis-module verpakt in de bekende Uno-footprint.
<https://learn.sparkfun.com/tutorials/hookup-guide-for-the-sparkfun-redboard-artemis>





De selectie in **figuur 11** zorgt ervoor dat Arduino de Ambiq factory bootloader gebruikt om de SparkFun Variable Loader opnieuw serieel te laden.

Stap 3: verander uw bootload-tool in SVL. Goed – dat doen we dus niet meer, OK? Verander de bootloader weer in SVL (**figuur 12**). Nu zullen uw sketches veel sneller worden geladen.

Resources – en verder

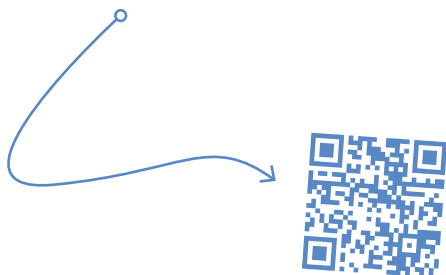
De volgende links aan het einde van dit artikel zijn vooral nuttig voor een snelle toegang tot de resources van Artemis: [5], [7], [11], [12], [13], [14], [17], [21] en [22]. Artemis gebruiken binnen Arduino? Bekijk de *Artemis Development with Arduino* tutorial. [27]

Werkt u liever met een make-file en een IDE? Bekijk de tutorial over het opzetten van de Ambiq Apollo3 SDK. [28]

En tot slot: Artemis is ontworpen voor en heeft bewezen te werken met het hele 100+ assortiment Qwiic-boards van SparkFun. Werp daar eens een blik op en laat u inspireren door wat er mogelijk is door gewoon de sensoren en uitgangen aan te sluiten die u nodig hebt om iets verbazingwekkends te bouwen!

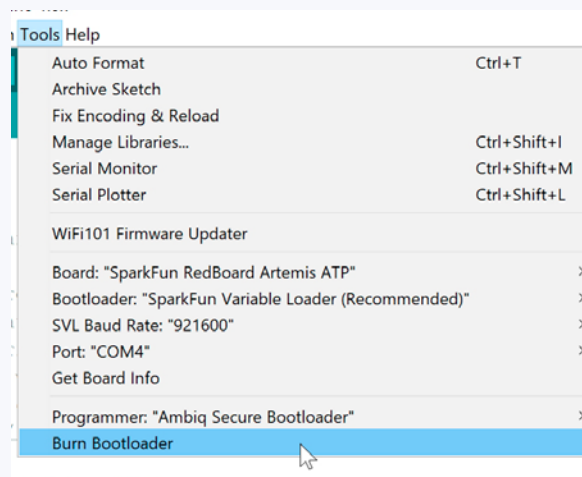
200685-04

Elektor online-pagina voor dit artikel:
www.elektormagazine.nl/esfe-en-artemis

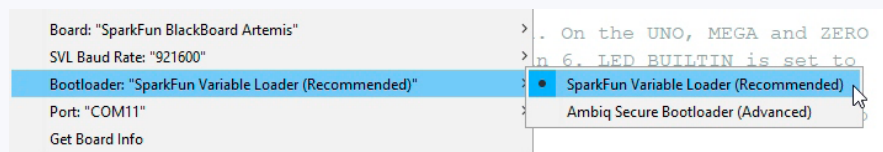


Met vereende krachten!

Artemis is het resultaat van een geweldige samenwerking met de teams van TensorFlow en Ambiq Micro.



Figuur 11. Kies Burn Bootloader in het Tools-menu.



Figuur 12. Ja, dit is weer figuur 9. Gebruik van nu af aan **altijd** de SparkFun Variable Loader.

WEBLINKS

- [1] PCB Basics: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/pcb-basics>
- [2] Using EAGLE: Board Layout: <https://bit.ly/3rLBDYW>
- [3] Bluetooth Basics: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/bluetooth-basics>
- [4] ARM Programming: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/arm-programming>
- [5] Ambiq: <https://ambiq.com>
- [6] Ambiq Apollo3 datasheet: <https://bit.ly/3b8uxb8>
- [7] Artemis Integration Guide: <https://bit.ly/3rLALn8>
- [8] RedBoard Artemis: <https://www.elektormagazine.nl/esfe-en-artemis2>
- [9] RedBoard Artemis Nano: <https://www.elektormagazine.nl/esfe-en-artemis3>
- [10] RedBoard Artemis ATP: <https://www.elektormagazine.nl/esfe-en-artemis4>
- [11] Apollo3 pin function map: <https://bit.ly/3hHtY9F>
- [12] Apollo3 datasheet: <https://bit.ly/2Lkjllh>
- [13] Ambiq SDK/HAL: <https://ambiq.com/apollo3-blue/>
- [14] JTAG tools: <https://www.sparkfun.com/categories/tags/jtag>
- [15] Artemis graphical datasheet: <https://bit.ly/39eBG7p>
- [16] Serial bootloading with the CH340: <https://bit.ly/3rNBCnz>
- [17] ARM Programming Tutorial: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/arm-programming>
- [18] Forum post: <https://bit.ly/3rUDJ8O>
- [19] Drivers voor Mac OSX: <https://bit.ly/354YgOb>
- [20] Drivers voor Linux: <https://github.com/juliagoda/CH341SER>
- [21] De Artemis bootloader: <https://bit.ly/392ZEIA>
- [22] Ambiq SBL tools: <https://bit.ly/38a1qlM>
- [23] SparkFun Forums: <https://forum.sparkfun.com/index.php>
- [24] Een Forum-account aanmaken: <https://forum.sparkfun.com/ucp.php?mode=register>
- [25] SparkFun Artemis Forums: <https://forum.sparkfun.com/viewforum.php?f=163>
- [26] Artemis Development with Arduino tutorial: <https://bit.ly/2XbG8hk>
- [27] Setting up the Ambiq Apollo3 SDK: <https://bit.ly/3ncdbfX>
- [28] SparkFun Qwiic boards: <https://www.sparkfun.com/qwiic>