Hardware Hacking 101

Christopher Scheuring

/whoami

- Christopher „Chris“ (Scheuring)
  - Hacker, Security Researcher & Analyst
  - Offiziell Security Experte (IT/OT/Embedded) und freiberuflicher Dozent (DHBW Mosbach und Karlsruhe)
- Mehr auf der Offensive-Seite…
  - Hauptfokus: IoT / OT+ICS / Embedded / Multi-Tier-Umgebungen / Netzwerk
  - Ebenso Automotive, Mobile und SDR
- Kontakt:
  - chris@aucmail.de
  - @0x4045494650@chaos.social :: @0x4045494650

Warum das Ganze?

Wieso ein Hardware (HW) Hacking 101?

- Embedded und IoT Hardware wird immer günstiger und einfach zu Programmieren
  - (Meist) kein Assembler notwendig - Programmierung in LUA, MicroPyhton, C/C++
  - Arduino, ESP usw.
- Kaum jemand macht sich Gedanken über Security
  - Oder: Viele Entwickler denken, dass ja keiner der HW öffnet und/oder es ist ja nur ein einfaches Stück HW für eine dedizierte Anwendungen…
- Die Hacking-Hardware ist teuer...
- Was kann schon schief gehen ;-)

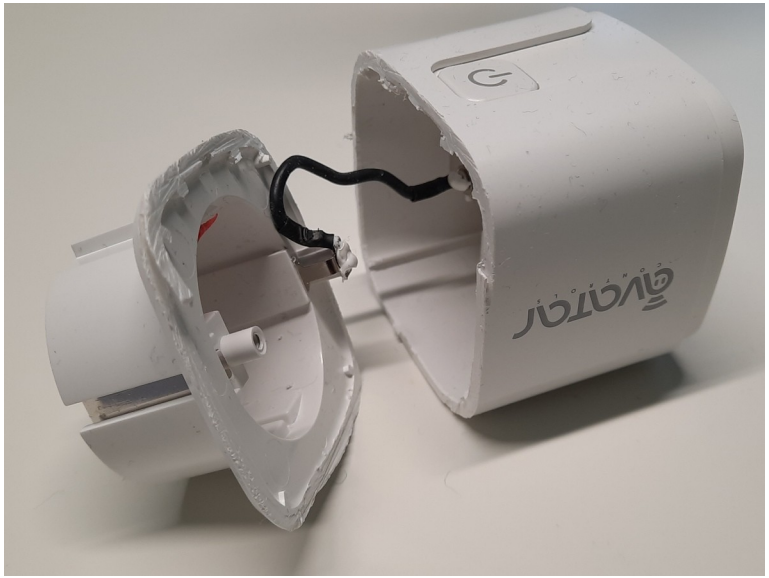
Was spricht für mehr Security?

Gummihammer

Sehr zuverlässig bei geklebten Gehäusen - und richtet (meist) wenig Schaden an :-)

Dremel / Mini-Flex / Puk-Säge

Wenn der Gummihammer nicht funktioniert - dann geht es mit ein wenig “Gewalt” ;-)



Am Ende geht es um eine Platine :-)

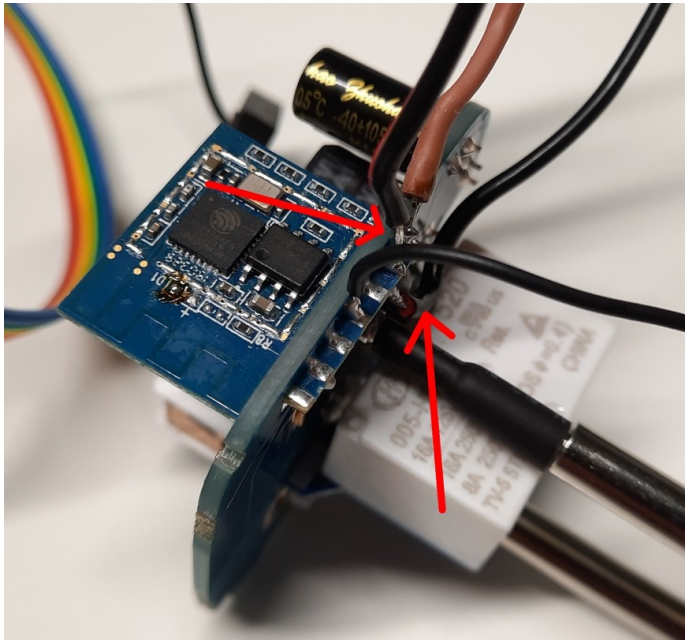
Wo Kabel angelötet werden können...

Firmware usw. ausgelesen werden kann...

Um z.B. an Credentials zu gelangen...

Oder die Funktion zu verstehen...

Oder eigene Firmware aufzuspielen...



Die Idee des Test-Boards

Ziele und Motivation (1)

- Das ganze ist als Idee für eine IT-Security Vorlesung an der DHBW entstanden
- Erkennen von Schnittstellen und Schwachstellen
  - Hardware-Design
  - Software-Implementierung
- Warum?
  - Aus Security-Sicht muss auch die HW betrachtet werden
  - Schlechtes SW-Design kann zu erfolgreichem Hack führen

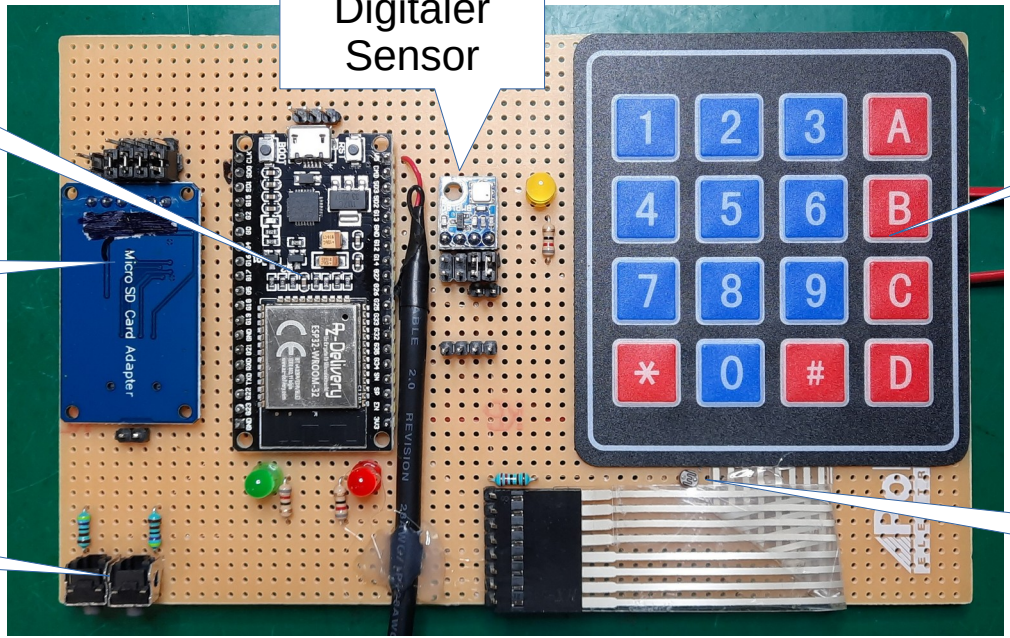
Ziele und Motivation (2)

- Umgang mit
  - Multimeter
  - Oszilloskop
  - Logic Analyzer
  - $Adapter (TTY, CAN, RS485 etc.)
- Ausnutzen von Schwachstellen / Designfehlern / Hidden Functions

Ziele und Motivation (3)

- Standard-Tools gibt es für kleine Geld und es wird kein Hightech-Equipment benötigt:
  - Multimeter => 15,- bis 25,- EUR
  - Logic Analyzer => China Saleae 10,- bis 15,- EUR (reicht für das meiste aus)
  - $Adapter (TTY, CAN, RS485 etc.), Jumper-Kabel => je 2,- bis 6,- EUR
  - Lötkolben – nicht zwingen, aber macht das Leben leichter => 50,- EUR
  - Optional: „kleines“ Digital-Oszilloskop => 100,- bis 300,- EUR
- **Alles zusammen gibt’s ab ~100,-EUR + 100 EUR für optionales Oszi**

Das Test-Board und seine Komponenten



ESP32 WROOM-32

Digitaler Sensor

4x4 Key-Pad

“Flash” Speicher

Taster

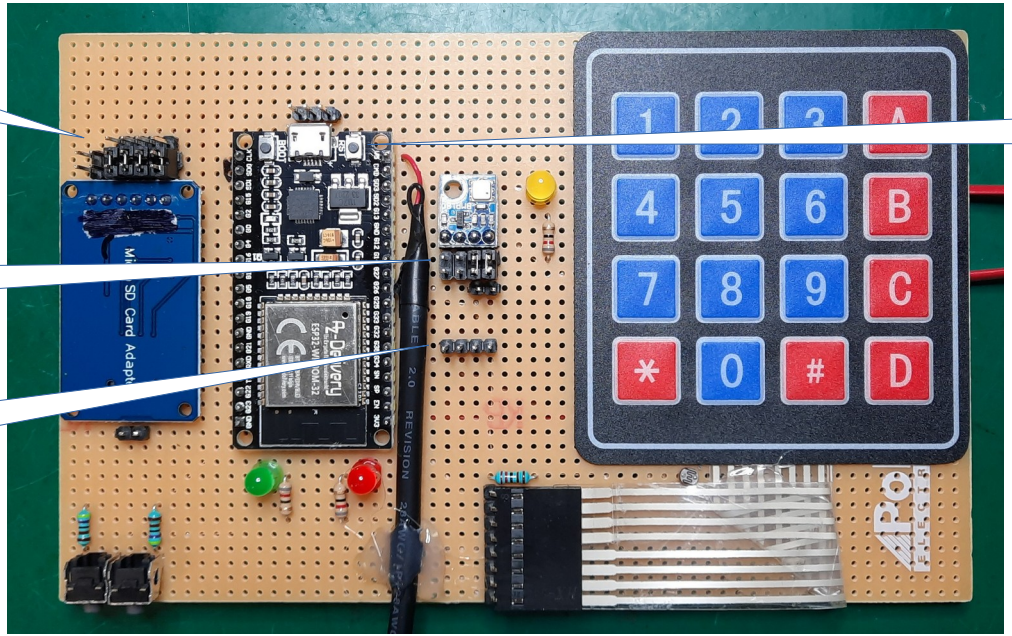
Analoger Sensor

Das Test-Board und seine Komponenten

Pin-Header
mit Jumper

Pin-Header
mit Jumper

Pin-Header
ohne Jumper :-)

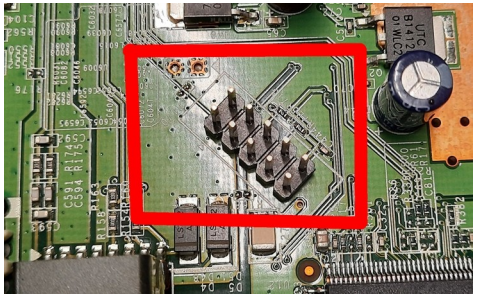


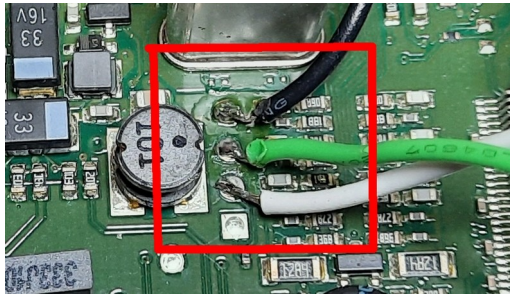
ESP Shield
Reset Button

Auffinden von Schnittstellen und Zugriff darauf

UART usw. auf Platinen / Embedded Geräten

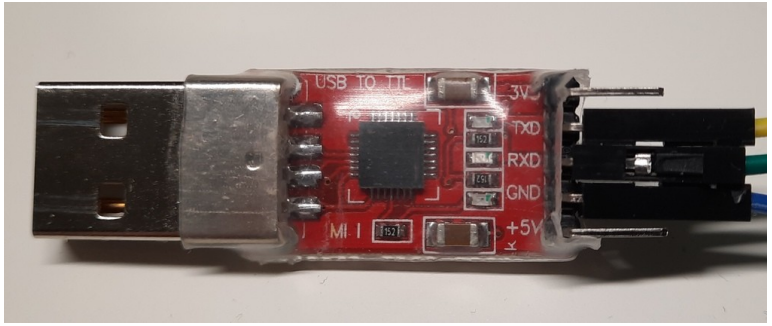
- Meist ist keine Sub-D Stecker wie die RS-232 bei einem PC verfügbar
- Wenn man Glück hat existiert ein Pfostenstecker oder zumindest einen entsprechende Vorsehung auf der Platine
- Ansonsten muss man die ICs auf der Platine analysieren und ggfls. Kabel direkt an die Pins der ICs oder andere taktisch gut gelegene Stellen auf
  der Platine anlöten.



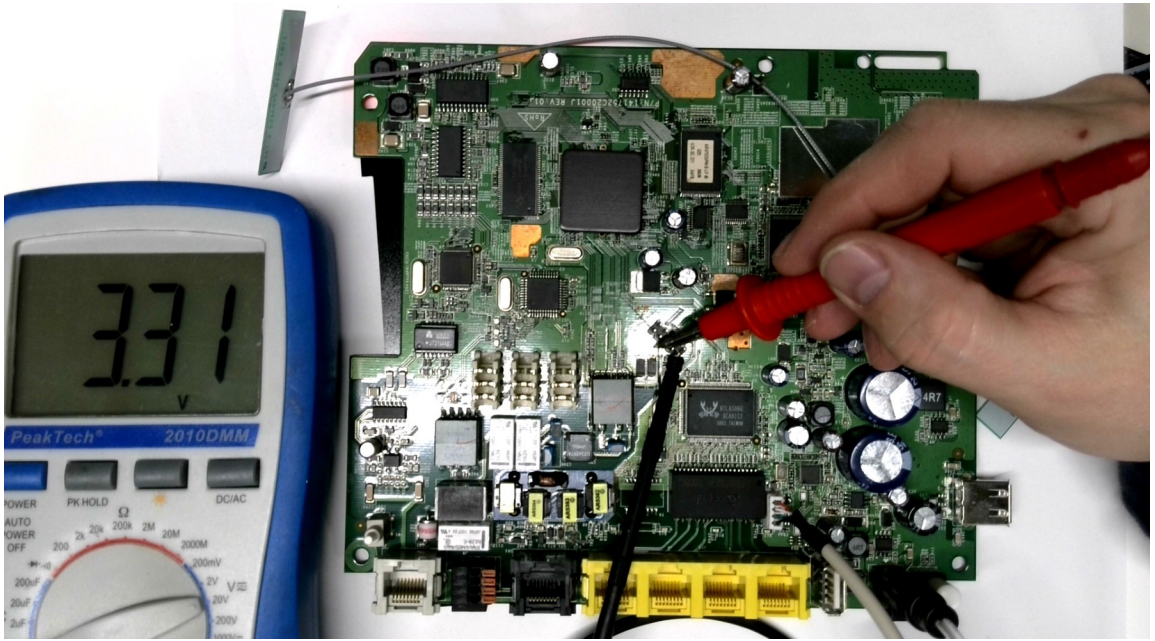


UART auf Platinen / Embedded Geräten

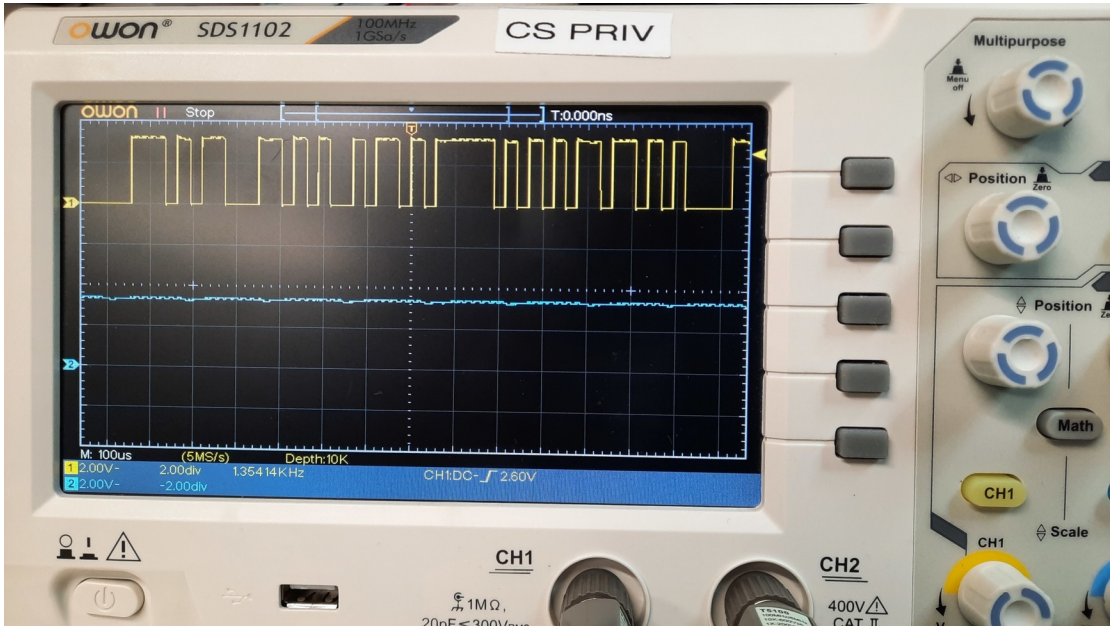
- Mit das wichtigste Tool für den UART Zugriff sind entsprechende Adapter
- RS-232 arbeitet mit mind +/-12 V => daher kein USB-TTL Adapter nutzen!
- Ansonsten sollte man auf darauf achten, mit welchen Pegel gearbeitet wird.
  - TTL Standard nutzt 5,0 V
  - Neuere Systeme nutzen oft 3,3 V oder sogar 1,8 V
  - Daher: Eine zu hohe Spannung für TX (transmit data) kann den UART-Anschluss auf dem System oder des Adapters zerstören.



Messung der Spannung mit Multimeter

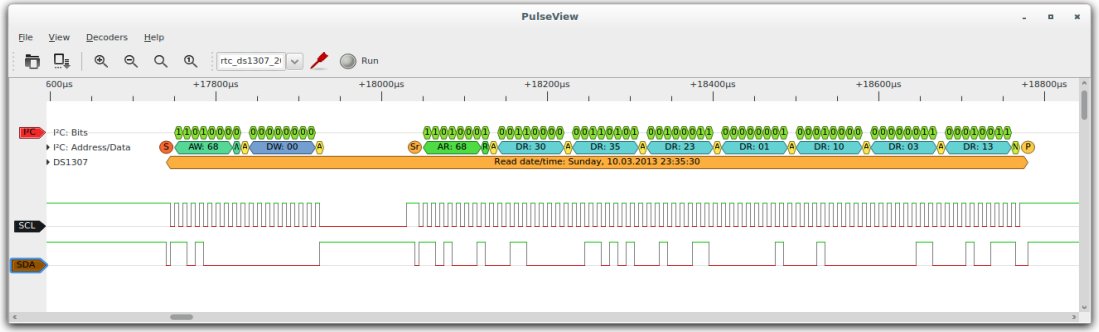


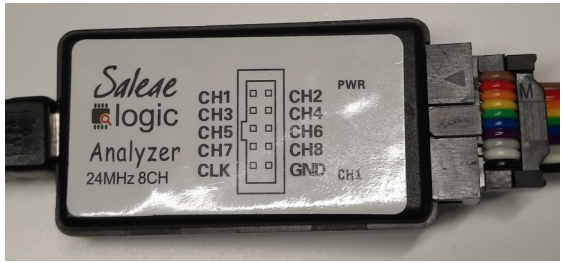
Analyse des Signals mit Oszilloskop



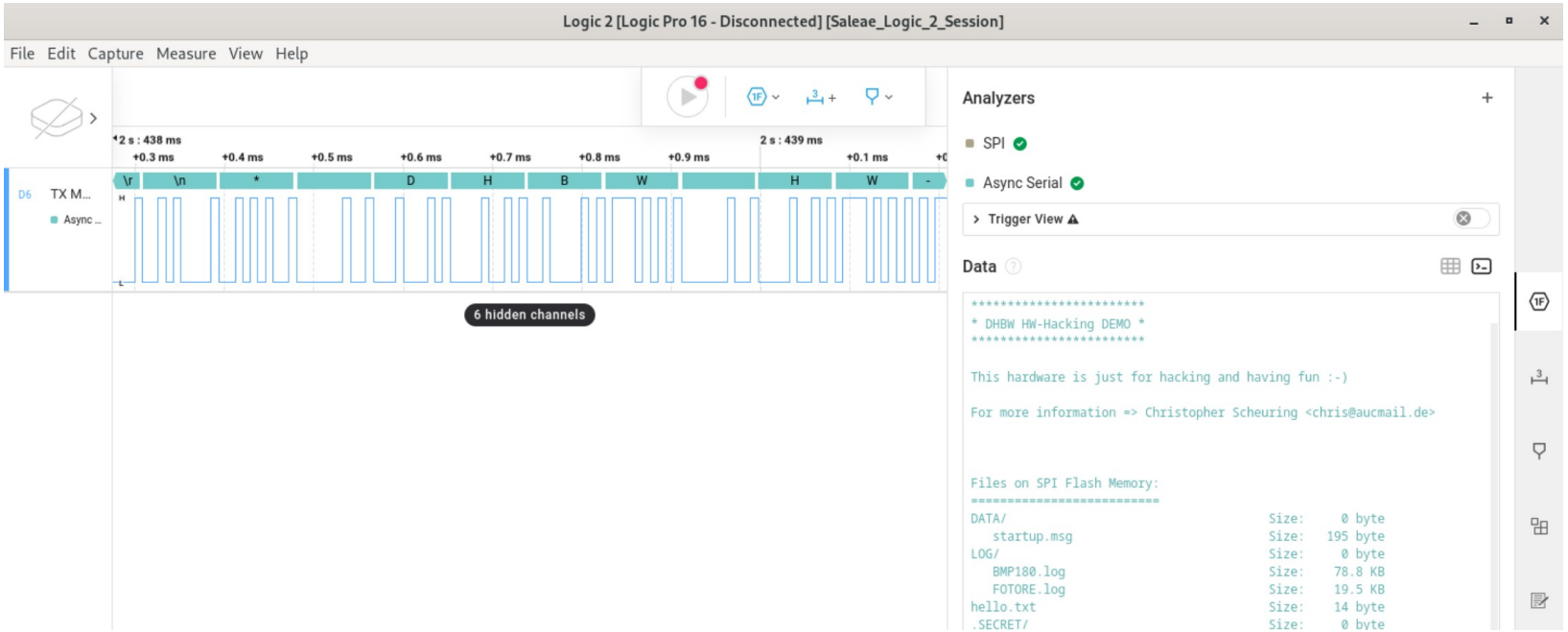
Analyse des Signals mit Logic-Analyser

- Da ein Oszilloskop nicht gerade günstig ist, bietet sich die kostengünstige Version Spannungsmessung und “15,- Euro” 24 MHz Logic-Analyser an (China Saleae Fake) an.
- Unter Linux kann dieser Logic-Analyser mit Hilfe der Sigrok-Tools und PulseView einfach genutzt werden
  - Sigrok-cli: https://sigrok.org/wiki/Sigrok-cli
  - PulseView (GUI): https://sigrok.org/wiki/PulseView





Analyse des Signals mit Logic-Analyser



Die Challenges

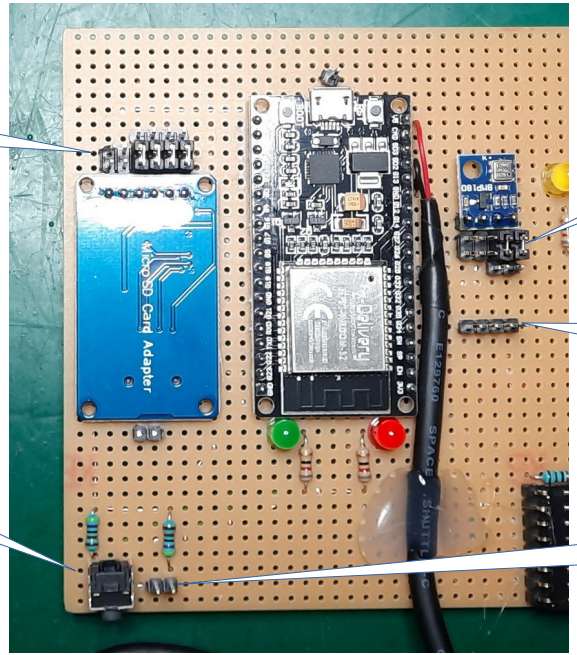
Challenge: HW und Funktionsanalyse

- Ermitteln der Pins und deren Funktion mit Hilfe von
  - Multimeter
  - Logic-Analyzer => welche Funktion haben die verschiedenen Pins?
    - Erstellen Sie sich eine Skizze mit den Pins und deren Funktion/Belegung.
  - TTY USB Adapter => Welche Details liefert die Serielle Schnittstelle?
- Welches Verhalten kann beim Ziehen einzelner Jumper identifiziert werden?
- Welche Funktionen haben die verschiedenen Sensoren und Taster?
  - Welches Verhalten können Sie erkennen?

HW-Analyse – Pins und deren Funktion

SPI Schnittstelle
Ist auf jeden Fall
wichtig.

Taster
Löst Meldung in
Serieller-Konsole aus



I2C
Schnittstelle

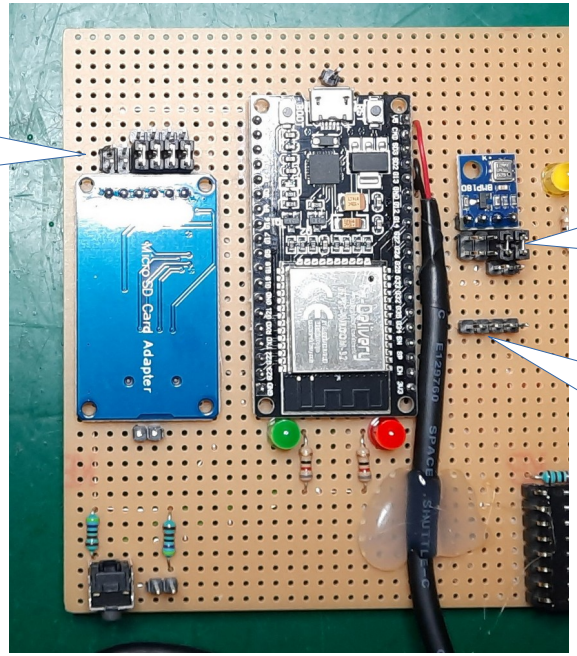
UART/TTY
Serielle Schnittstelle
nur TX-Data

Macht
erstmal nix

HW-Analyse – Pin Belegung (links nach rechts)

1 GND
2 Vcc 5V
3 MISO
4 MOSI
5 SCLK
6 CS

ACHTUNG:
3.3V Pegel



1 Vcc 3.3V
2 GND
3 SCL
4 SDA

3.3V Pegel

1 n.c.
2 TX Data
3 GND
4 GND

3.3V Pegel

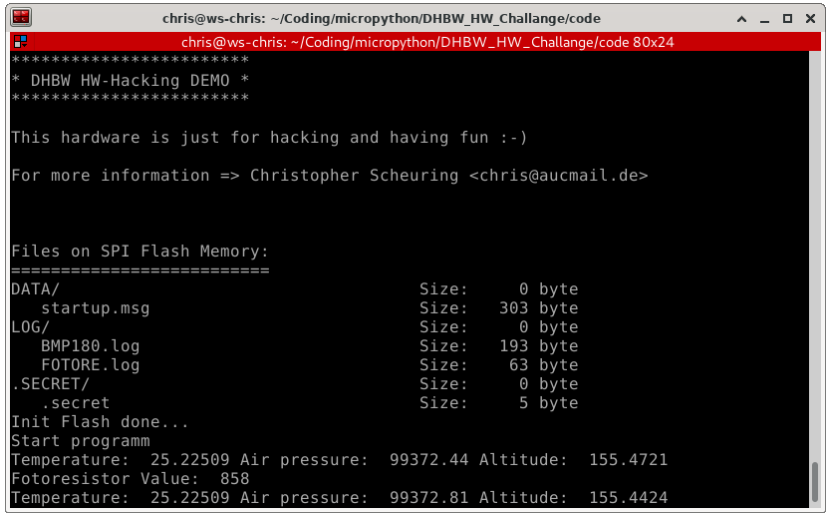
X-Ver:

1 GND
2 GND
3 TX Data
4 n.c.

Funktions-Analyse

- SPI Schnittstelle dient zum Datenaustausch zwischen dem ESP und Flash-Speicher (Standard SD-Card Zugriff auf FAT-Ebene)
- I2C Schnittstelle dient zum Auslesen der BMP180 Sensorwerte (Temperatur, Luftdruck und relative Höhe)
- Werden einzelne Jumper von der SPI und I2C Schnittstelle entfernt, erscheint eine Fehlermeldung in der Seriellen Konsole.
- Serielle Schnittstelle stellt eine “read-only” Konsole zur Verfügung, die verschiedene Systemzustände anzeigt.
- Der analoge Sensor ist ein Helligkeitssensor und gibt Werte von 0 (absolut dunkel) bis 4095 (max. hell) aus.
- Der Taster erzeugt folgende Meldung in der Seriellen Konsole: „Case is open - no Pin entry possible!“
- Der Jumper Header neben dem Taster scheint Funktionslos zu sein, wenn man diesen überbrückt.

Funktions-Analyse Serielle Konsole



- Nach dem anlegen der Betriebsspannung startet das Systems, es erscheint eine Begrüßungsmeldung und Details zum angebunden Flash-Filesystem.
- Danach werden alle 2 Sekunden die Werte des BMP180 und dem Lichtsensor ausgegeben.
- Aktionen lösen weitere Meldungen in der Konsole aus.

Challenge: Key-Pad und die PIN

- Finden Sie einen Weg, um das Key-Pad zu aktivieren.
- Finden Sie einen Weg, um an die PIN zu gelangen.
- Hinweis: Achten Sie auf die Ausgabe der Seriellen Konsole.
  - Was können Sie daraus schließen, um an die PIN zu gelangen?
  - Denke Sie auch an die Übungen zur Analyse von über SPI übertragene Daten.

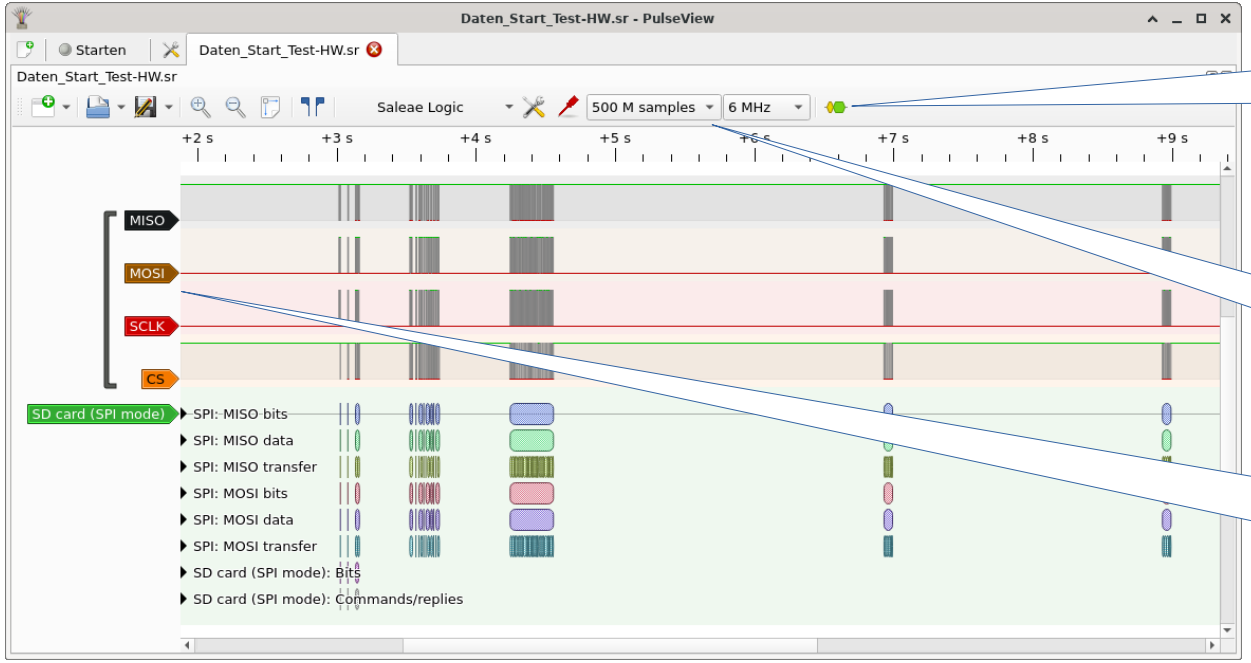
Key-Pad und die PIN

- Finden Sie einen Weg, um das Key-Pad zu aktivieren.
  - Es muss der Taster gedrückt und gleichzeitig muss der Lichtsensor komplett abgedunkelt werden. Es erscheint die Meldung:

    ```
    Case is closed :: Start KeyPad activation for 10 seconds.
    Enter Pin (Confirm with #-Key):
    ```

- Finden Sie einen Weg, um an die PIN zu gelangen.
  - Nutzen Sie *Pulseview* um die SPI Kommunikation mit zu schneiden und extrahieren Sie mit Hilfe von *sigrok-cli* die übertragenen Daten.
  - Die PIN wird beim starten neu erzeugt und in die Datei `.SECRET/.secret` abgelegt.

Key-Pad und die PIN – SPI sniffen



Den „SD Card (SPI Mode)“ Decoder auswählen

500 M Samples + 6 MHz Abtastrate reichen aus

Am besten die Kanäle Beschriften wie im Pin-Layout identifiziert.

SPI Analyse der Daten

- Die mit Hilfe von *Pulseview* aufgezeichneten Daten beim Starten des Systems (am besten warten, bis mind. 1-2 Sensorwerte in der Konsole angezeigt wurden) in eine Datei zur weiteren Verarbeitung mit *sigrok-cli* abspeichern (z.B. *Daten_Start_Test-HW.sr*).

- Folgende Befehle extrahieren die Klartext Information:

  - Daten Senden Flash-Speicher:
    ```
    $ sigrok-cli -i Daten_Start_Test-HW.sr -P
    spi:wordsize=8:miso=MISO:mosi=MOSI:clk=SCLK:cs=CS -B spi=mosi | strings
    ```

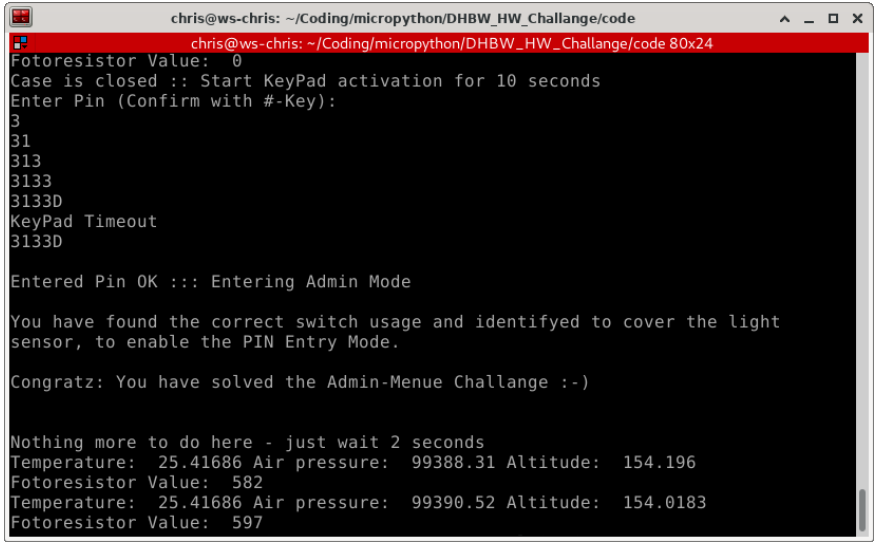
  - Daten Empfangen Flash-Speicher
    ```
    $ sigrok-cli -i Daten_Start_Test-HW.sr -P
    spi:wordsize=8:miso=MISO:mosi=MOSI:clk=SCLK:cs=CS -B spi=miso | strings
    ```

  - Anstatt `| srings` kann auch `| hexdump -C` genutzt werden (zum besseren Vergleich in Pulseview z.B.)

PIN und PIN Eingabe

- Die gesendeten Daten enthalten folgenden String:

```
..
SECRET~1
ECRET~1SWP
5777D <= Das ist die erzeugte
.        und auf dem Flash
         gespeicherte PIN.
```



Challenge: Versteckte Funktion

- Der Jumper Header zeigt bisher beim Überbrücken mit z.B. einem Kabel vom Logik-Analyse keine Reaktion.
- Gibt es einen Weg, um darüber in Kombination mit einer weiteren Aktion eine versteckte Funktion auszulösen?
- Hint: Manchmal muss man in die Extreme gehen – kein Feuerzeug, Lötkolben, Gummihammer usw. ;-)

Analyse Versteckte Funktion

- Sobald der Jumper Header gebrückt ist und der Lichtsensor mit einer sehr hellen Lichtqueller (Smartphone Blitz-LED z.B.) steigt der Lichtsensor-Wert auf das Maximum von 4095 und eine versteckte Funktion wird aktiviert:

```
Entering hidden REPL prompt (micropython console)…

You have found the correct switch usage and identifyed to flash the light
sensor, to enable this hiddin function.

Congratz: You have solved the Hidden-Function Challange :-)

You will get an REPL console.
For restart, just press the reset button of the ESP32 Wroom Shield.

Enhanced Challange:
Try to enable the RX-Data Pin for getting complete REPL access!
Hint: Maybe you need a third "hand" and need to ask for aditional stuff ;-)
```

Weitere Challenges

- RX-Data ist nicht mit der Seriellen Konsole verbunden; daher kann die Micropython REPL nicht direkt genutzt werden.

  Challenge: Finden Sie einen Weg, RX-Date für die Eingabe von Befehlen in der REPL Eingabe nutzen zu können

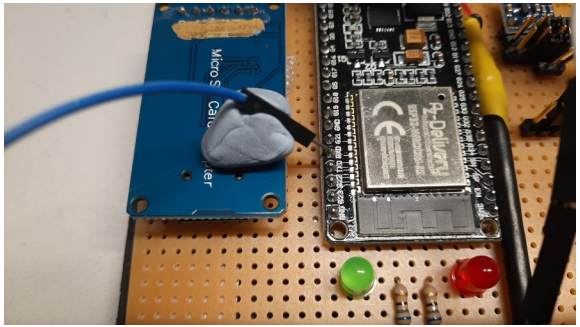
  - Welche zusätzlichen Probleme im Code können Sie mit dem Konsolen-Zugriff noch identifizieren?

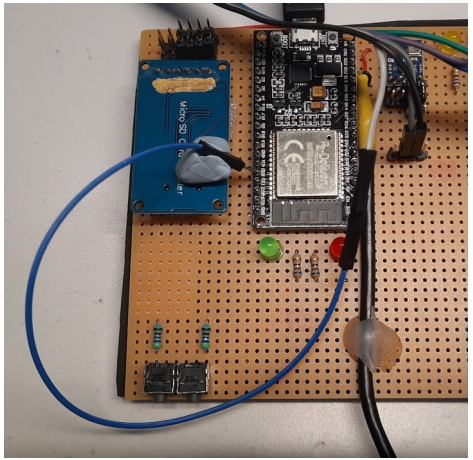
- Beim Starten des Anwendung existiert eine Race-Condition mit der das Programm zum Absturz gebracht werden kann und in einem undefinierten Zustand gelangt.

  Challenge: Finden Sie den Race-Condition – wie kann man diese mit Hilfe der Konsolen-Ausgabe und dem SPI Mitschnitt zeitlich eingrenzen?

Challenge RX-Data und Konsolenzugriff

- Aufgrund des ESP32-Shield Design ist der Zugriff auf die Serielle Konsolen RX-Data Line einfach möglich. Der Pin mit der Bezeichnung RX muss einfach mit TX des USB-TTY Adapters verbunden werden.
- Sobald Sie der RX-Line nutzen können, kann das laufende Programm jederzeit mit CTRL-C abgebrochen werden! Sie erhalten so auch Zugriff auf die REPL





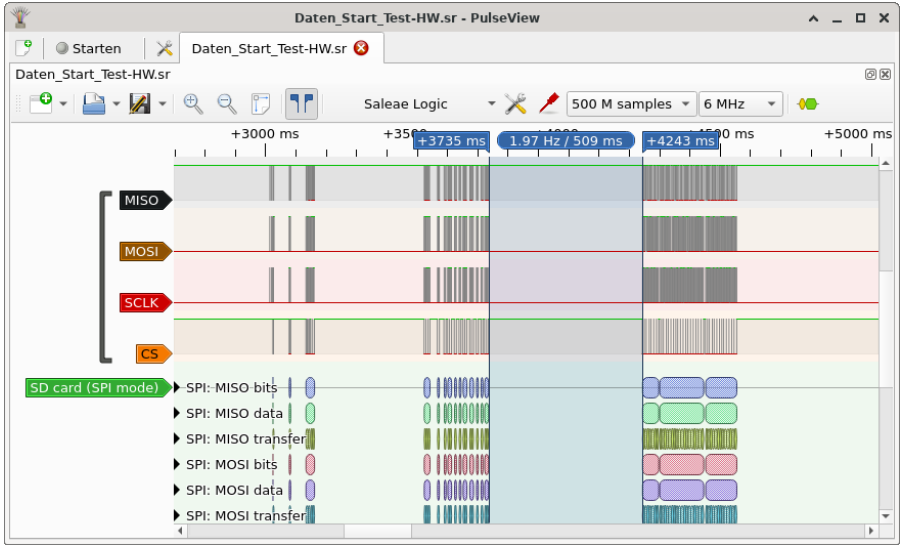
Challenge Race-Condition (1)

- In der Konsole kann beim Starten eine kleine Verzögerung zwischen den beiden Ausgaben

  ```
  Init Flash done…
  Start programm
  ```

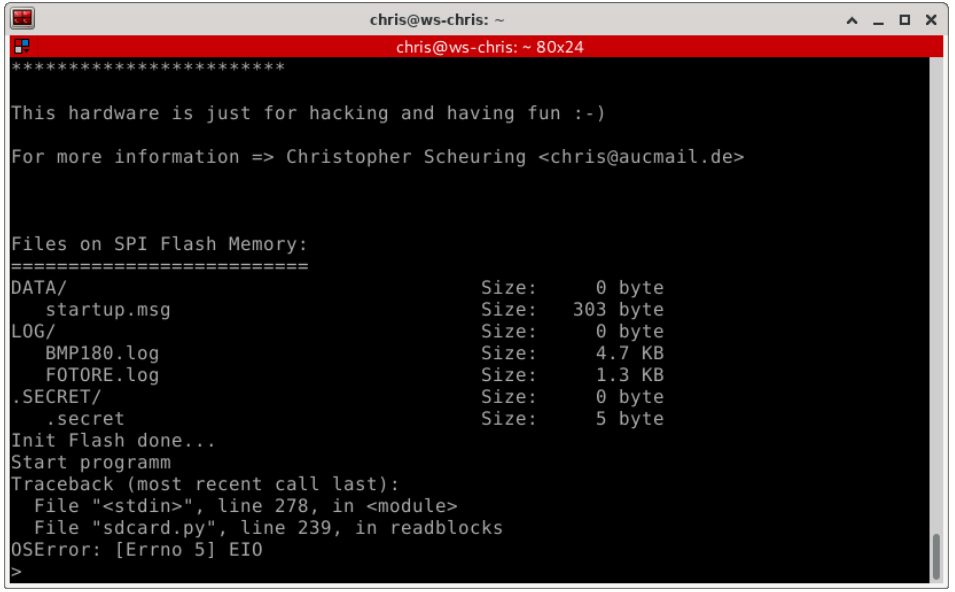
  beobachtet werden.

- Im SPI Mitschnitt kann diese Stelle auch erkannt werden, da hier eine Verzögerung von 500ms zwischen den Auslesen der Start-Nachricht und dem anlegen der Log-Daten zu erkennen ist.



Challenge Race-Condition (2)

- Diese Verzögerung von 500ms könnte auf ein „Warten“ auf den Flash-Speicher etc. sein.
- Durch gezieltes ziehen eines Jumpers im SPI-Block innerhalb dieser Verzögerung, wird eine nicht abgefangene Exception erzeugt, die das Programm zum abstürzen bringt. Der Micropyhton Interpreter befindet sich dann in einem undefinierten Zustand.



Only DEMO Hidden-Functions...

Weitere Hidden-Functions - DEMO

- Beim BMP180 können die Temperatur-Extreme dazu genutzt werden, zwei unterschiedlichen versteckte Funktionen aufzurufen.
- Bei der Durchführung muss man sehr vorsichtig vorgehen – es könnte dabei kaputt gehen!
- Extreme Hitze über 80°C startet eine versteckter Funktion.
- Extreme Kälte unter -30°C startet ebenfalls eine versteckter Funktion.
  - Da der BMP180 Sensor eine kleine Öffnung für die Luftdruckmessung besitzt, fällt der Sensor nach dem Einfrieren eine Weile aus, bis das sich gebildete Kondenswasser aus dem Sensor entwichen ist.

Fragen? Diskussion?

Wo finde ich mehr dazu?

- Details zur Hardware, Sourcecode, mehr Doku, Übungen usw:
  - https://gitfoo.0x17sec.de/DHBW-Stuff/hw-hacking-101
  - Alles (soweit möglich) ist unter GPL und CC veröffentlicht
- Oder eMail an mich ;-)
  - chris@aucmail.de
- Link zu den Slides
  - https://gitfoo.0x17sec.de/DHBW-Stuff/hw-hacking-101/src/branch/main/Hardware_Hacking_Board_Vorstellung_DE.pdf