

# CE & Low Budget EMI Debugging



# Über mich

Teja Philipp

Gründer von Mr Beam Lasers

Informatik & Digital Media Design



# Über diesen Vortrag

Motivation:

Selbsthilfe mit minimalen Mitteln

Kein Anspruch auf Vollständigkeit

Ich teile meine Erfahrungswerte



# Ausgangssituation

CE-Konformität für Mr Beam II

10 eigens entwickelte PCBs,

Raspberry Pi3 + Raspberry Kamera

Netzteil

Ziele:

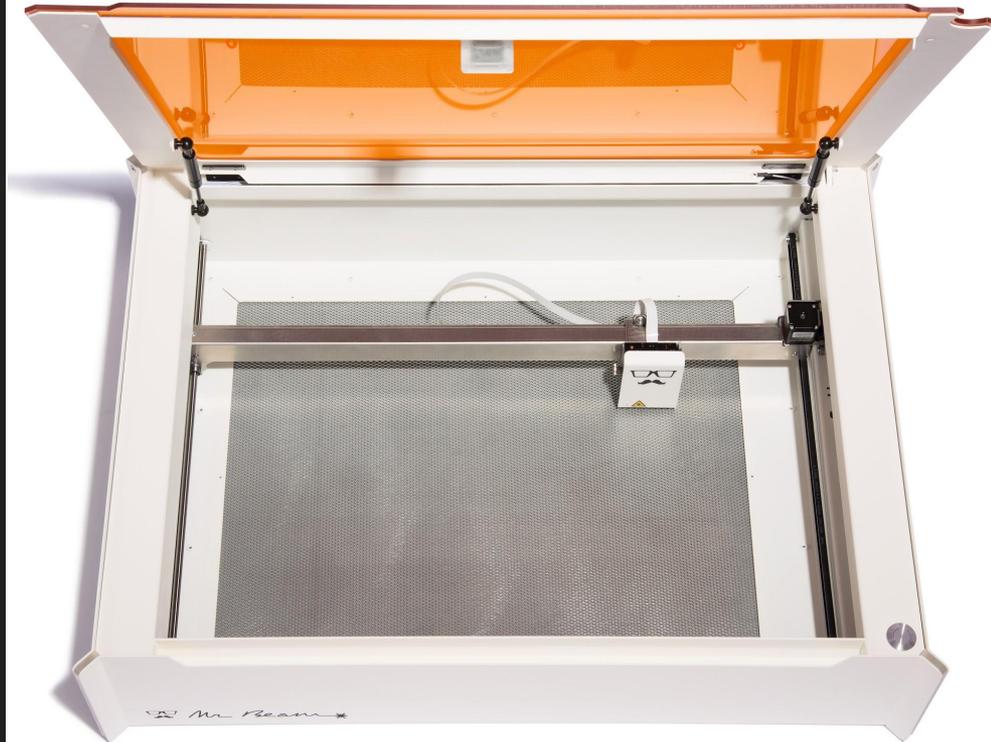
- == CE
- == störungsfreier Betrieb.



# Ausgangssituation

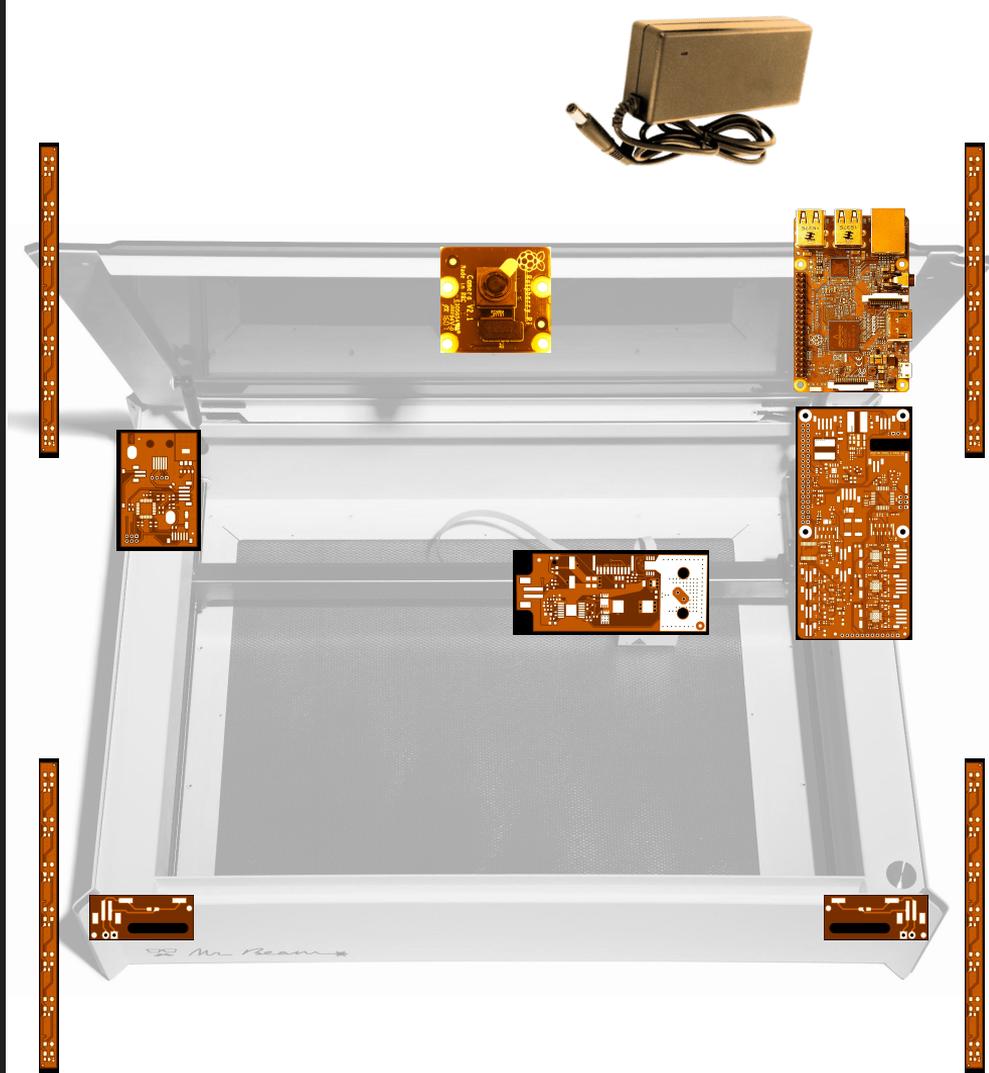
Ziele:

- == CE
- == störungsfreier  
Betrieb.



# Was ist verbaut?

- == Raspberry Pi3
- == Mr Beam Shield
- == Laser Driver
- == Fan Controller
- == Raspberry Camera
- == 4x WS2812 PCBs
- == 2x Adapter PCBs
- == externes Netzteil



# EMV-Konformität

Konformität durch Richtlinien festgelegt

- == Maschinenrichtlinie 2006/42/EC:2007-03-16
- == EMV-Richtlinie 2014/30/EU:2014-02-26
  - ~ EN 61000-3-2:2014-08 (EMV bis 16A Klassifizierung)
  - ~ EN 61000-3-3:2013-08 (EMV Grenzwerte)
  - ~ EN 61000-6-1:2007-01 (Störfestigkeit)
  - ~ EN 61000-6-3/A1/AC:2012-08 (Störaussendung)
- == Funkrichtlinie 2014/53/EU:2015-01-23
  - ~ EN 301406 V 2.2.2:2016-09 (Drahtlose Telekommunikation)
- == RoHS 2011/65/EU:2014-02-14



# EMV-Konformität

## Ablauf eines Tests

- == Selbst testen und dokumentieren
  - ~ Viel Messequipment notwendig
  - ~ Ohne geeichte Messgeräte nicht aussagekräftig
- == Testlabor
  - ~ idealerweise in der Nähe
  - ~ ggf. UL-zertifiziert

Betriebsanleitung für den Test notwendig



# Testüberblick

## Funkschutz:

- == A4 Leitungsgeführte Störgrößen
- == A5 Gestrahlte Störgrößen (<1 GHz)
- == SER3 Gestrahlte Störgrößen (>1 GHz)
- == H&FL Spannungsänderungen, Spannungsschwankungen, Flicker
- == H&FL Oberschwingungsströme

## Störfestigkeit:

- == I2 Entladung statischer Elektrizität (ESD)
- == I3 Hochfrequente elektromagnetische Felder
- == I4 Schnelle transiente elektrische Störgrößen (BURST)
- == I5 Stoßspannungen
- == I6 Leitungsgeführte Störgrößen
- == I8 Magnetfelder mit energietechnischen Frequenzen
- == I11 Spannungseinbrüche
- == I11 Kurzzeitunterbrechungen

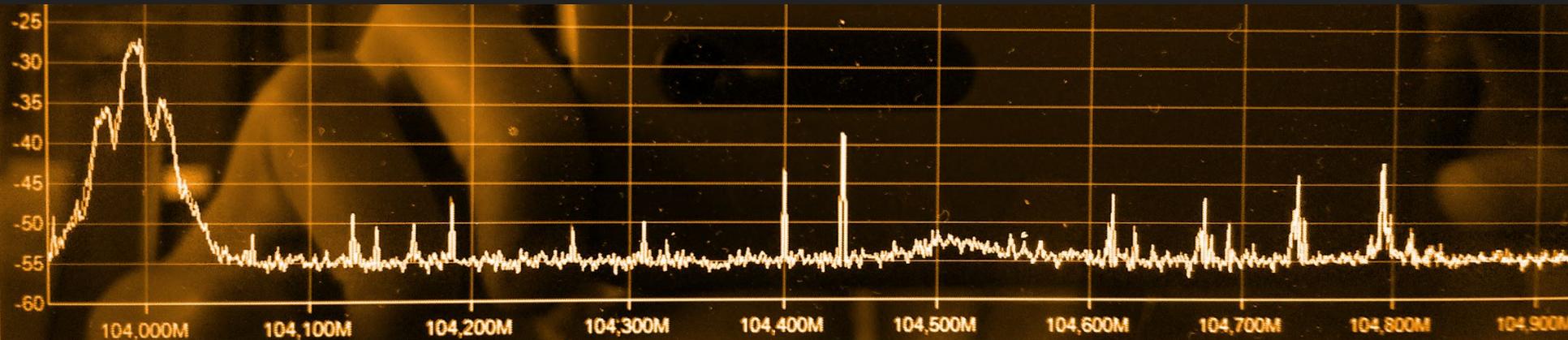
# Testüberblick

Stromnetz surge

**Abstrahlung**

Einstrahlung

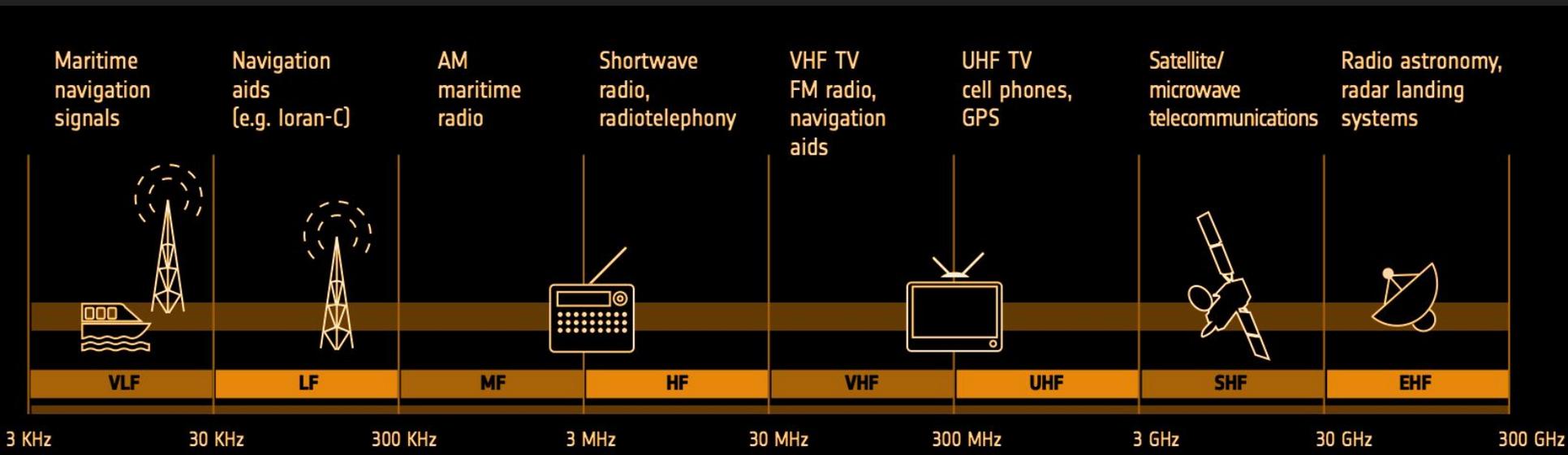
ESD



# Tests: Abstrahlung

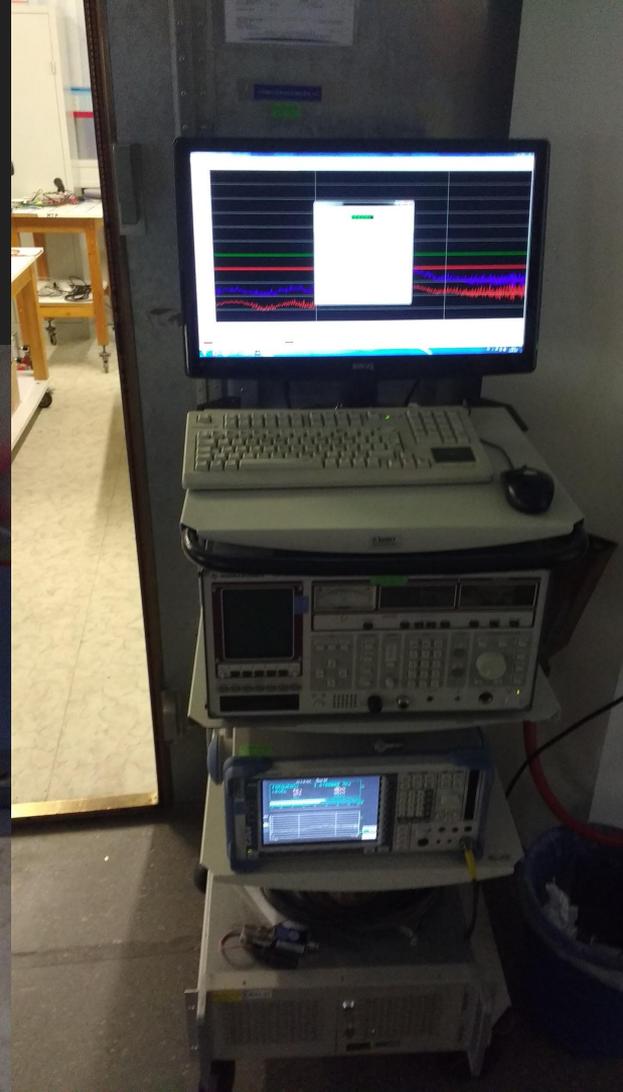
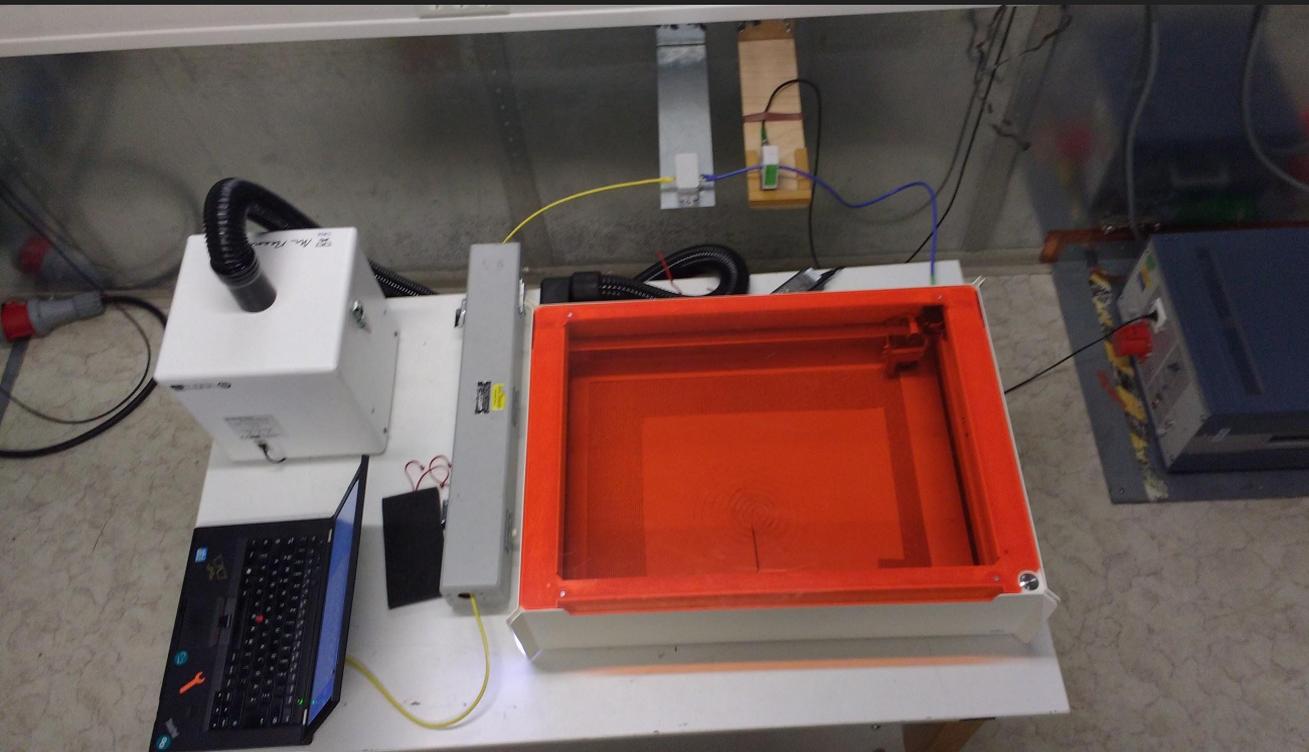
0.15 MHz – 30 MHz Leitungsgebunden

30MHz – 6GHz Freifeld



First try

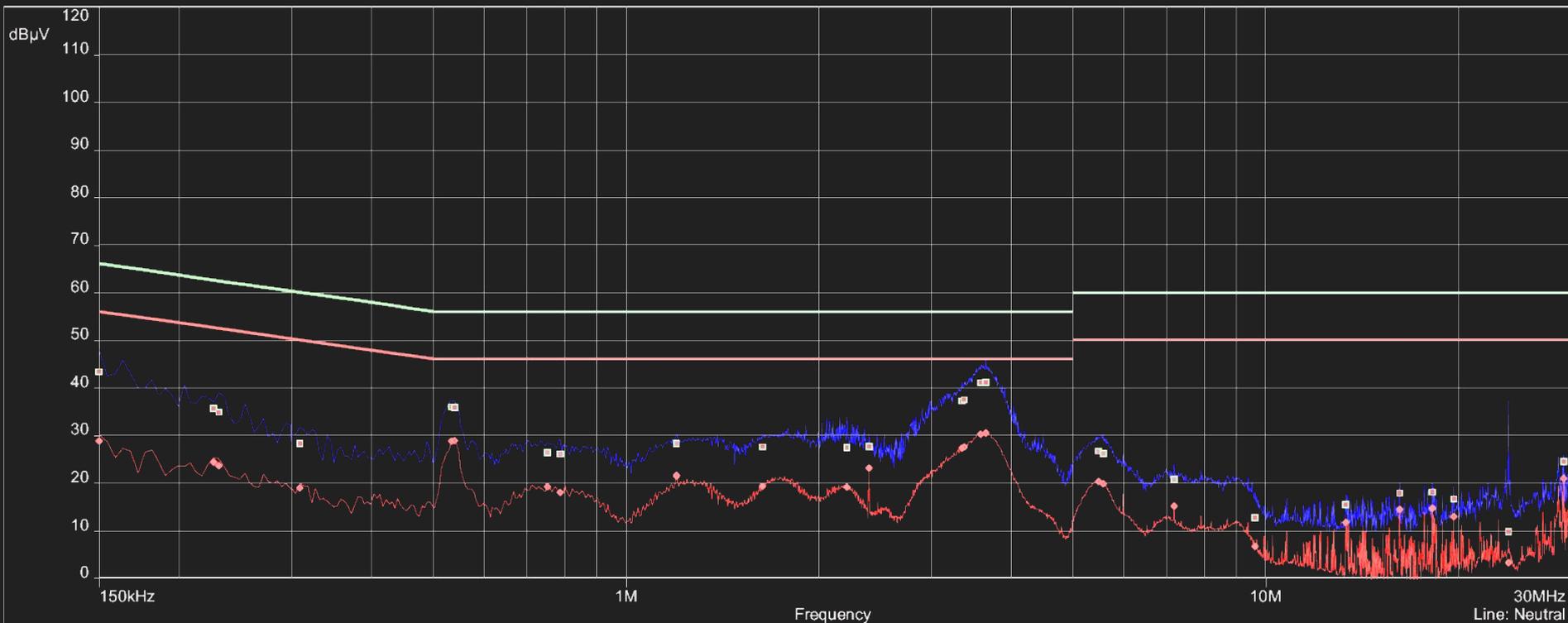
0.15 MHz – 30 MHz Leitungsgebunden



# First try

0.15 MHz – 30 MHz Leitungsgebunden

- EN 61000-6-3\_2011/EN61000-6-3 EMCL AC B - Average/
- EN 61000-6-3\_2011/EN61000-6-3 EMCL AC B - QPeak/
- Meas.Peak (Neutral)
- Meas.Avg (Neutral)
- QuasiPeak (Finals) (Neutral)
- ◆ Average (Finals) (Neutral)



# First try

30MHz – 6GHz Freifeld



# First try

30MHz – 6GHz Freifeld

Messverlauf:

- == Gerät im Betrieb auf Drehteller
- == Tester scannt durch die Frequenz
- == Peaks werden maximiert
- == Korrekturfaktor wird addiert
- == Korrekturfaktoren werden täglich aktualisiert

Ergebnis: Miserabel!

Frequency (MHz)	Reading Vert. (dB $\mu$ V)	Reading Hor. (dB $\mu$ V)	Correct. Vert. (dB/m)	Correct. Hor. (dB/m)	Level Vert. (dB $\mu$ V/m)	Level Hor. (dB $\mu$ V/m)	Limit (dB $\mu$ V/m)	Dlimit (dB)
31.60	14.0		13.5		27.5		30.0	-2.5
33.70	18.0		13.8		31.8		30.0	1.8
36.00	14.0		14.1		28.1		30.0	-1.9
43.00	15.0		14.4		29.4		30.0	-0.6
43.20	16.0		14.4		30.4		30.0	0.4
44.00	15.0		14.4		29.4		30.0	-0.6
56.80	11.0		14.4		25.4		30.0	-4.6
72.00	15.0		10.3		25.3		30.0	-4.7
99.20	13.0		13.1		26.1		30.0	-3.9
103.20	13.0		13.0		26.0		30.0	-4.0
104.00	15.0		12.9		27.9		30.0	-2.1
104.80	12.0		12.9		24.9		30.0	-5.1
107.20	14.0		12.7		26.7		30.0	-3.3
108.80	13.0		12.5		25.5		30.0	-4.5
111.20	15.0		12.3		27.3		30.0	-2.7
112.00	14.0		12.2		26.2		30.0	-3.8
112.80	14.0		12.1		26.1		30.0	-3.9
113.60	14.0		12.1		26.1		30.0	-3.9
114.40	9.0		12.0		21.0		30.0	-9.0
126.40	23.0		10.8		33.8		30.0	3.8
127.20	22.0		10.8		32.8		30.0	2.8
128.00	26.0		10.7		36.7		30.0	6.7
128.80	25.0		10.7		35.7		30.0	5.7
129.60	24.0		10.7		34.7		30.0	4.7
130.40	21.0		10.6		31.6		30.0	1.6
131.20	24.0		10.6		34.6		30.0	4.6
132.00	24.0		10.5		34.5		30.0	4.5
132.80	26.4		10.5		36.9		30.0	6.9
133.60	25.0		10.4		35.4		30.0	5.4
134.40	25.0		10.4		35.4		30.0	5.4
135.20	27.0		10.4		37.4		30.0	7.4

# Katerstimmung :(

Erste Ideen:

- == Schirmung
- == Dämpfungen
- == Ursachenbehebung

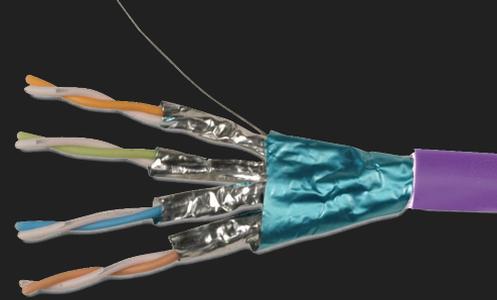
# Schirmung

Methoden:

- == Drahtgeflecht
- == geschirmte Kabel
- == Folie
- == Lack

Hat für Mr Beam nicht funktioniert.

aufwendig, teuer, kompliziert die Montage,  
Wirksamkeit begrenzt



# Dämpfung

== Ferrite

- ~ auf der Platine
- ~ Ringe
- ~ Stangen

Verschieben die Frequenz eines Peaks

Pegel wird nur minimal kleiner

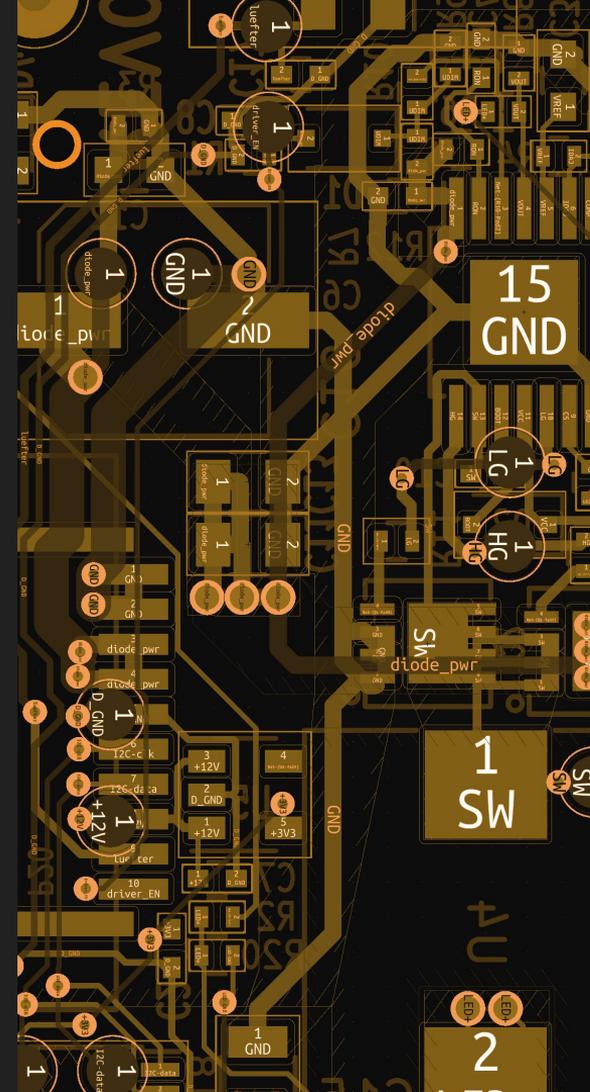
Sinnvoll bei Überlagerung von mehreren Peaks



# Ursachenbehebung

Finde den Fehler:

- == Erst Raten
  - ~ Schaltpläne
- == Dann Messen
  - ~ Frequenzspektrometer mit Antenne(n)
  - ~ EMV-Tests nachvollziehen



# Messen: Equipment

Profi Equipment

Rohde & Schwarz FSW85 Spectrum Analyzer

Breitbandantenne HL562E

Preis: 😞😞.😞😞😞, - €

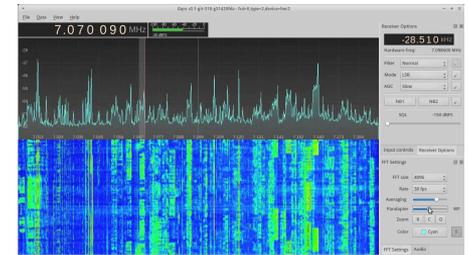
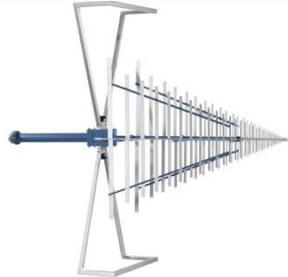
Low Budget Alternative

DVB-T Stick mit RTL2832U

Software: GQRX

Breitbandantenne (ebay / diy)

Preis ~ 50,-€



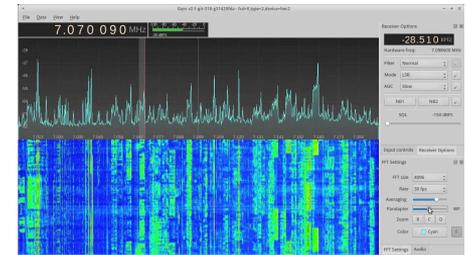
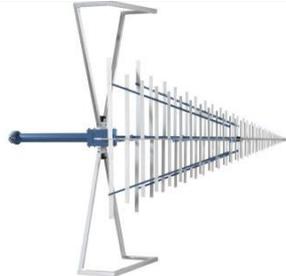
# Messen: Equipment

## Profi Equipment

- + größere Bandbreite
- + Messgenauigkeit
- o keine zertifizierte Kalibrierung
- Preis

## Low Budget Alternative

- + Preis
- + Usability
- o keine zertifizierte Kalibrierung
- Messgenauigkeit
- Bandbreite



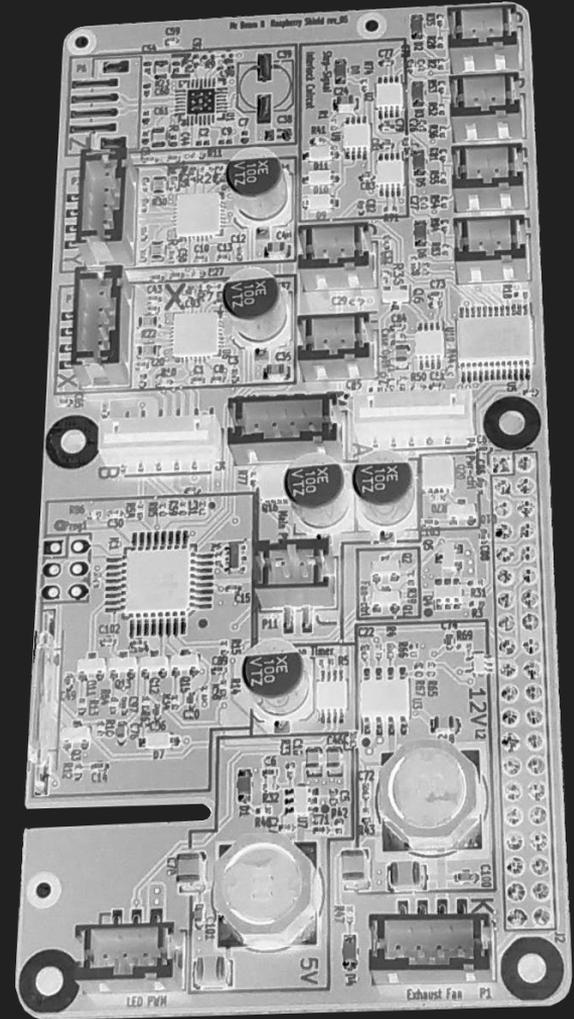
# Fehlersuche: Quellen

Alles was schwingt:

- == Schaltnetzteile / DC-DC Wandler
- == CPU (Raspberry Pi)
- == Microcontroller
- == Quarze
- == Spulen / Schwingkreise

Alles was schaltet:

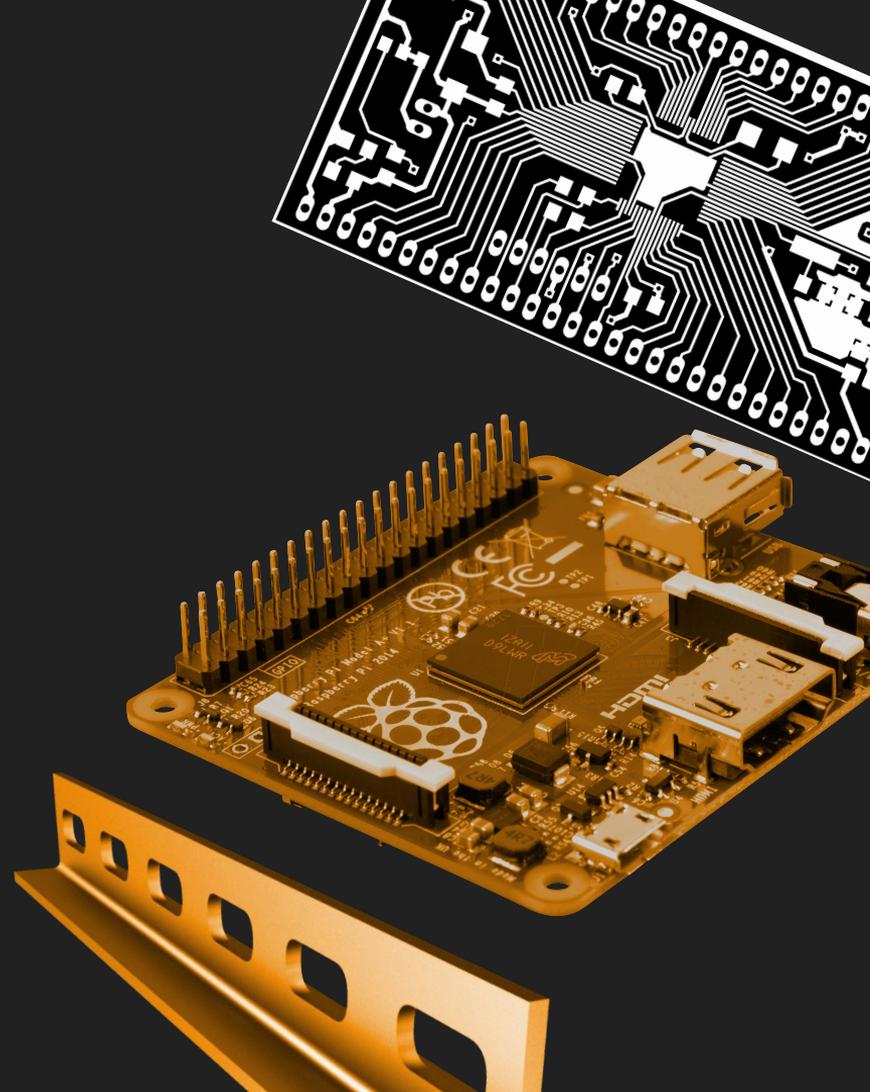
- == Signalverstärker, schaltflanken
- == Ws2812 LEDs



# Fehlersuche: Quellen

Ohne Antenne strahlt nichts

- == Kabel im Gehäuse
- == Leiterbahnen
- == Pins auf der Platine
- == Spaltantennen
- == Angesteckte Kabel (z.B. USB, LAN)
- == Gehäuseteile aus Metall



# Fehlersuche: Hinweise

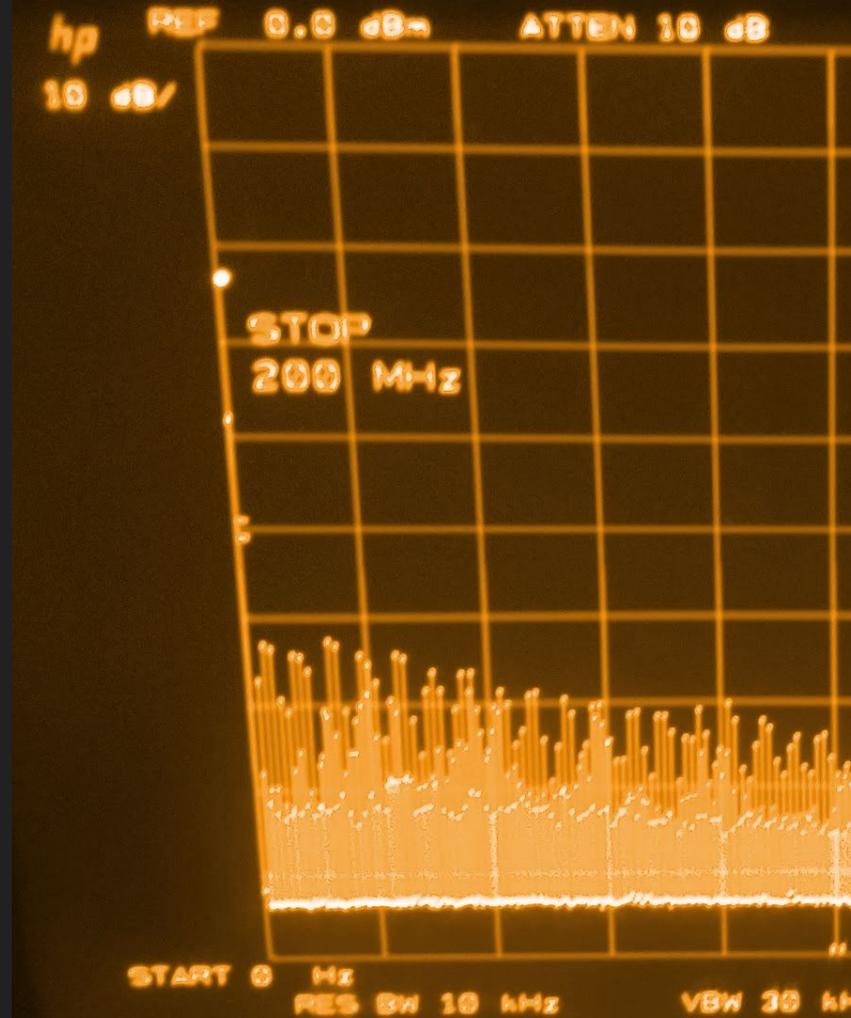
Frequenzband abfahren, von unten nach oben

Peaks geben Hinweise auf Ursachen

- == Frequenz
- == deren Vielfache & ganzzahlige Teiler
- == Abstand von Peaks

Eventuell Frequenzanalyse mit FFT & co

Radio nebendran laufen lassen.



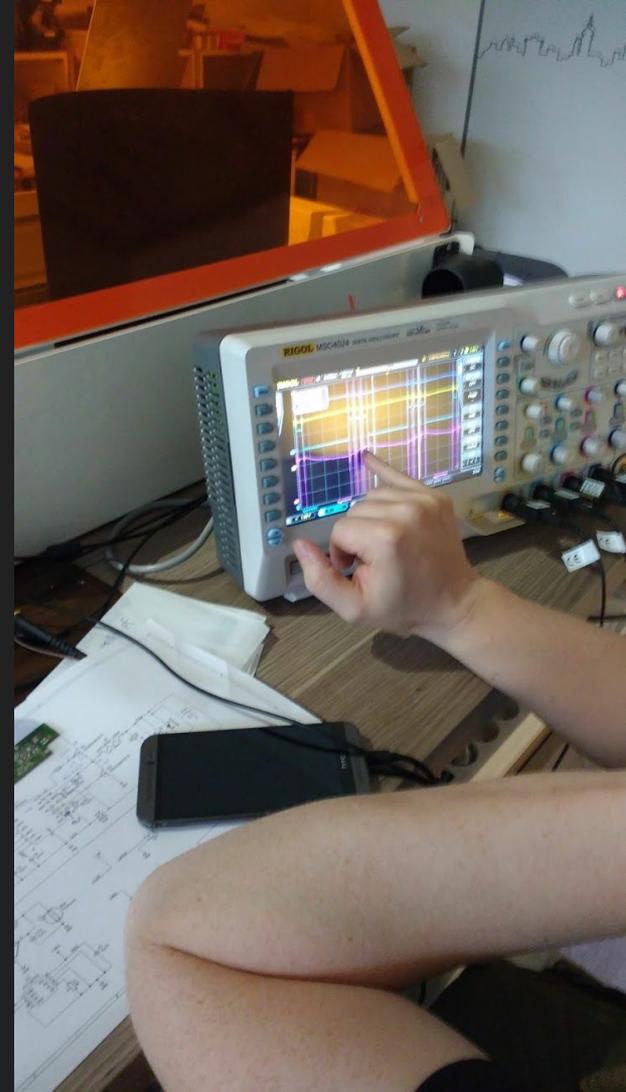
# Fehlersuche: Hinweisen nachgehen

grobe Lokalisierung:

== Module / Funktionen ab- und anschalten

feine Lokalisierung:

== Osci auf verdächtige stellen anlegen



# Gefundene Störquellen: 1

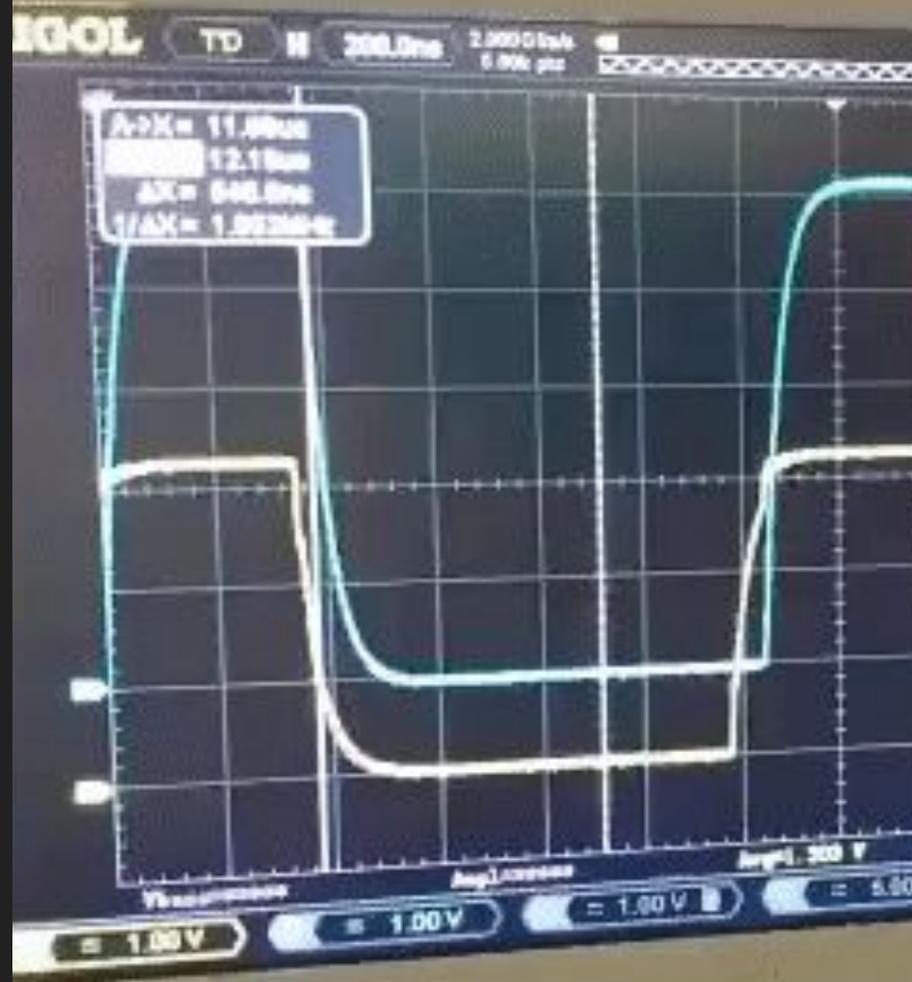
43.2 MHz

- == Peak sichtbar => WS2812 LEDs an
- == LED-Signal ok (800 kHz)
- == Nicht sichtbar  
bei nur einem LED-Stripe

Ursache:

Überschwinger beim "Durchreichen"  
der Datenleitung in einer WS2812 LED

Lösung: Entprellen mit 50pF



# Gefundene Störquellen: 2

33.7 MHz

- == Peak sichtbar wenn Laser an
- == Richtige Spur durch Osci

Ursache:

- == Ground-Anbindung am Laserkopf
- == hat in den i<sup>2</sup>c Bus eingestrahlt.

Lösung:

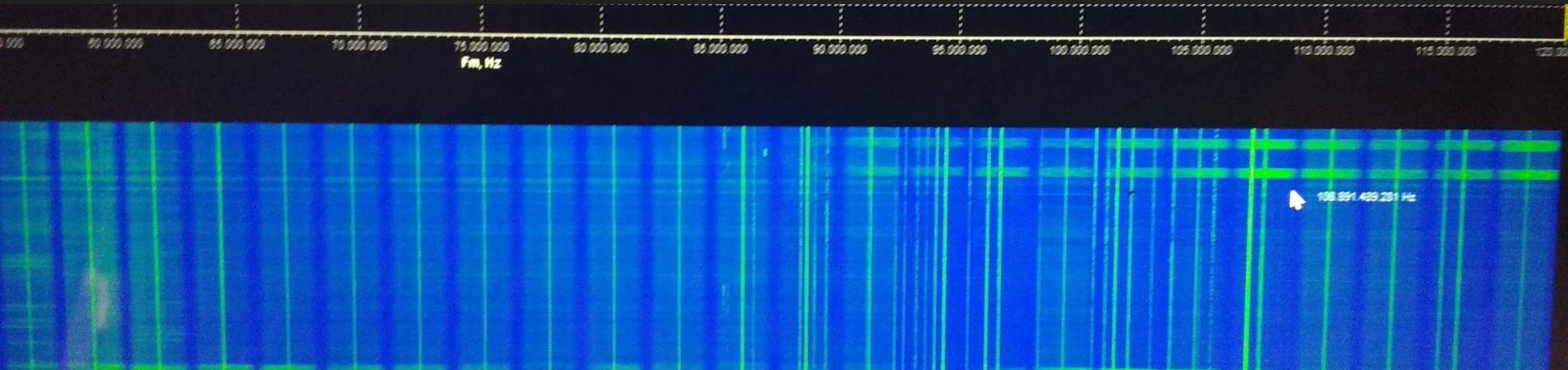
- == separater GND für Signale,
- == mehr Pufferkapazität, dickere Anbindung



# Gefundene Störquellen: 3

101.2, 102.0, 102.8, ... 106.8 MHz

- == Auffällig: Peak alle 800 kHz
- == Quelle: rpi\_ws281x library für WS2812 LEDs
- == Peaks auch sichtbar, wenn nichts an den Raspberry angesteckt ist



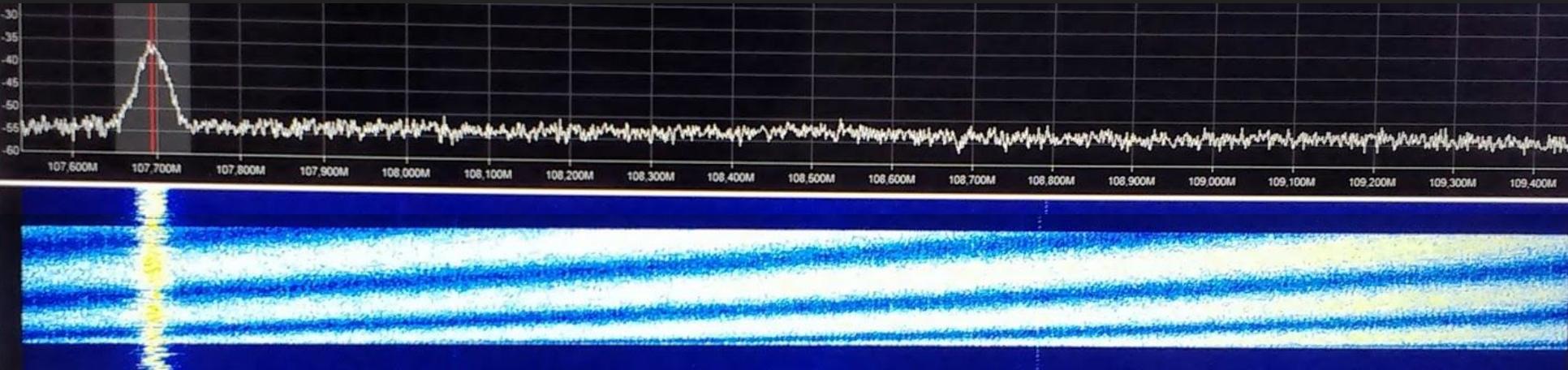
# Gefundene Störquellen: 3

101.2, 102.0, 102.8, ... 106.8 MHz

== Pin wechseln? -> hilft nicht.

== Raspberry Pi tauschen? -> geht nicht

Lösung: rpi\_ws281x library frequency hopping beibringen



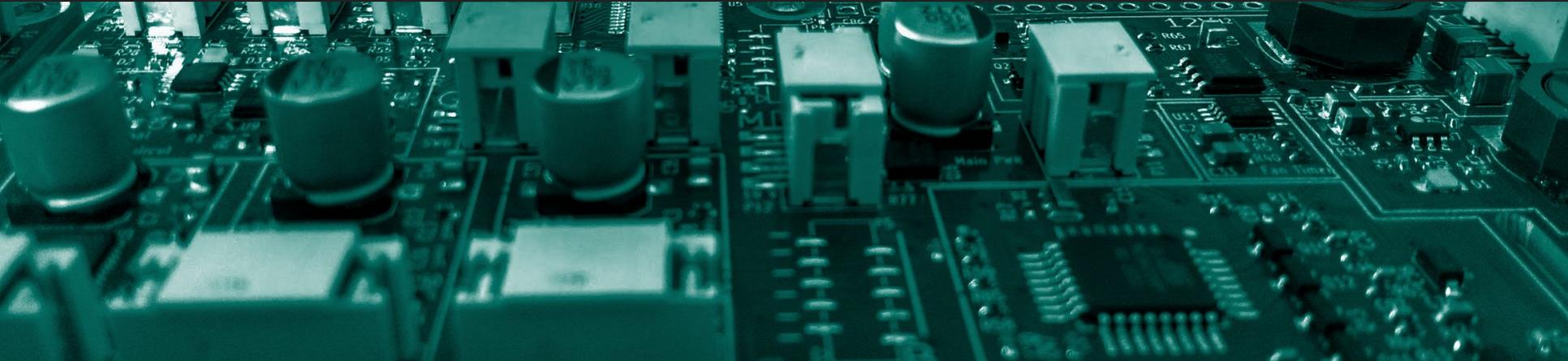
# Best Practices

Beim PCB-Design:

- == Signale: Low Pass Filter vorsehen
- == Snubber im Layout vorsehen
- == Leiterbahnen kurz halten
- == Design Guidelines lesen
- == Trennung von Signal GND und Power GND

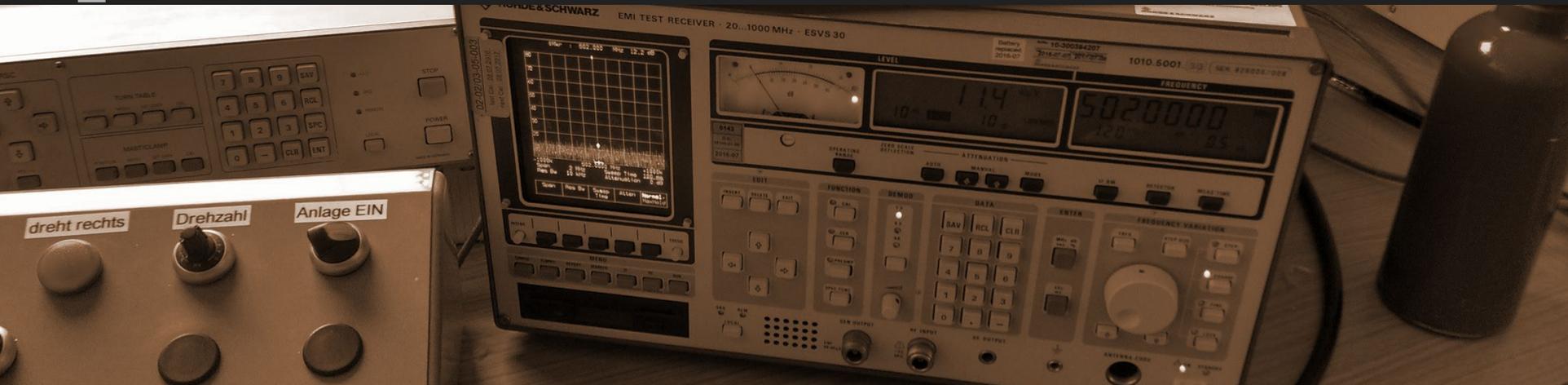
Beim Test:

- == Antenne verkleinern  
~ Kabellängen spezifizieren
- == Frequenzen variieren
- == ggf. Ferrit-Kerne
- == Gute Erdung überall



# EMV-Test vorbereiten

- == Testaufbau so gut es geht selbst definieren (Anleitung)
- == Selbst verwendete Frequenz bereiche ausschließen (WLAN, Bluetooth)
- == Nicht verwendete Schnittstellen als nur zu Servicezwecken deklarieren
- == Verhalten definieren (Störung bei Einstrahlung am Filter)
- == Social engineering



# Danke

[teja@mr-beam.org](mailto:teja@mr-beam.org)