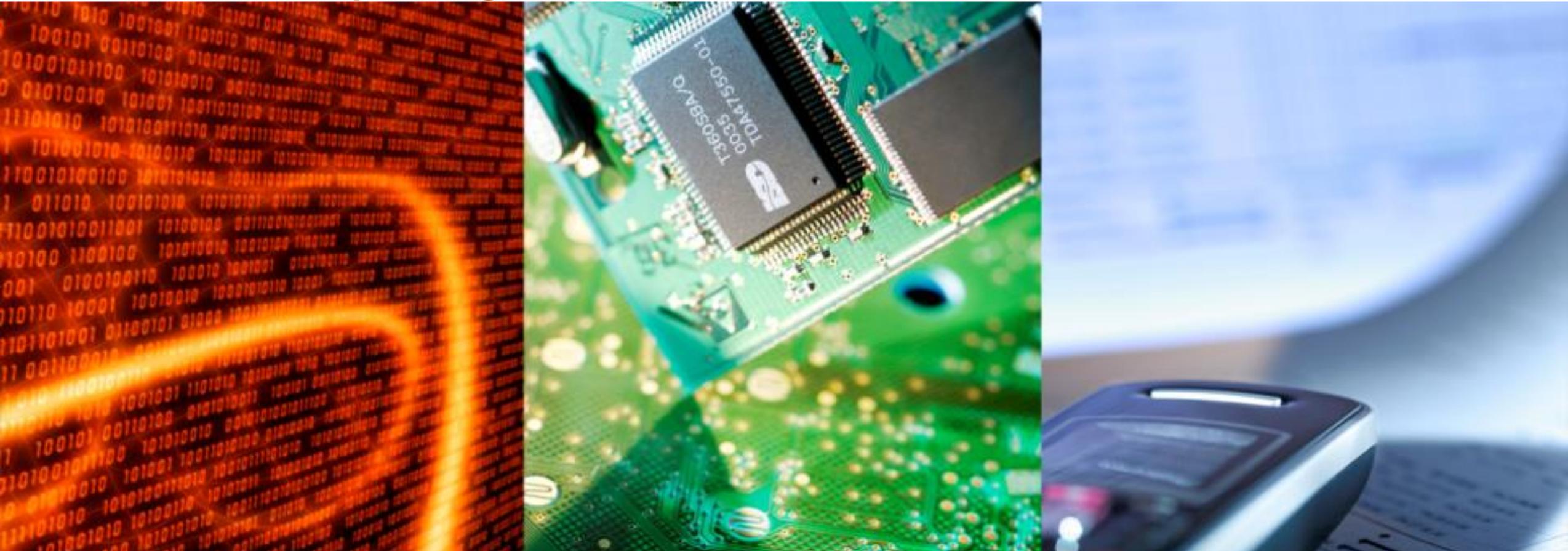


## Funk Funktionsprüfung im Produktionsablauf



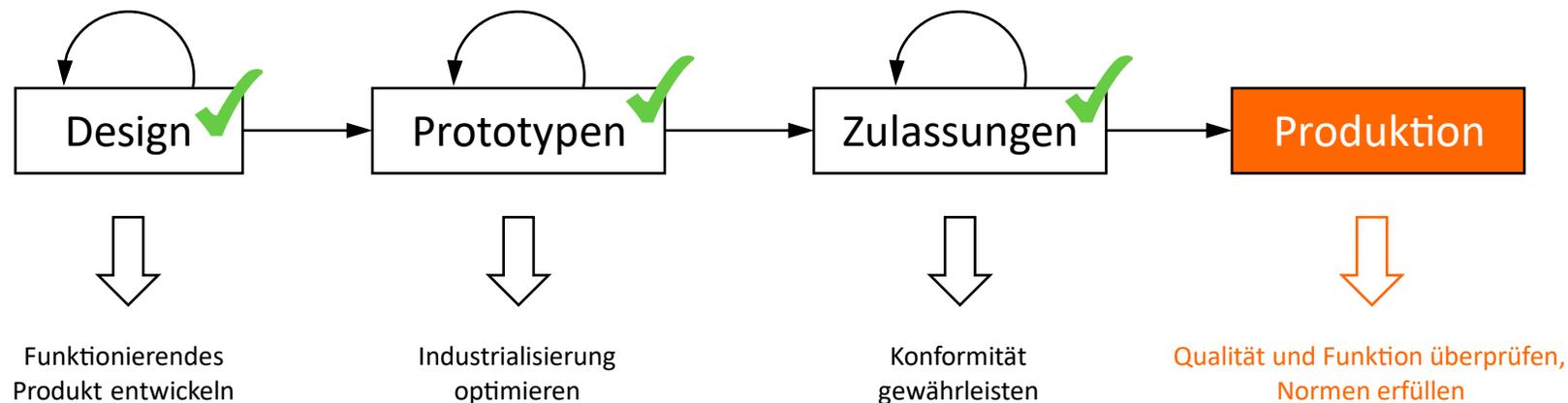
## Produktion

Was wird gemacht

- Funktionstest von bestückter Elektronik
- Funktionstest von kompletter Baugruppe

Was wird nicht gemacht

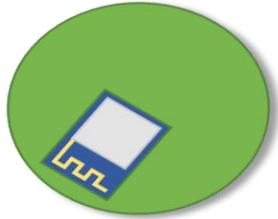
- Designverifikation
- Zulassungsmessungen



## Ziele

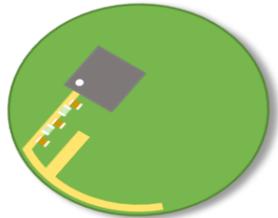
- Sicherstellen, dass Komponenten korrekt bestückt sind (Module..)
- Sicherstellen, dass Komponenten korrekt funktionieren (Einfluss von Gehäuse...)
- Sicherstellen, dass sich DUT wie spezifiziert verhält und kein Ärger macht
- Gewährleisten konstanter Qualität
- Erkennen von Veränderungen in Bauteilen oder Materialien
- Erfassen von Statistik und Auswertung
- Erfüllen erforderlicher Normen (z.B. Medical ISO 13485)

## Ansätze



### Funkmodule

- Reduzierter Testaufwand, da bereits getestet und zugelassen
- Verifizieren von Gesamtfunktion



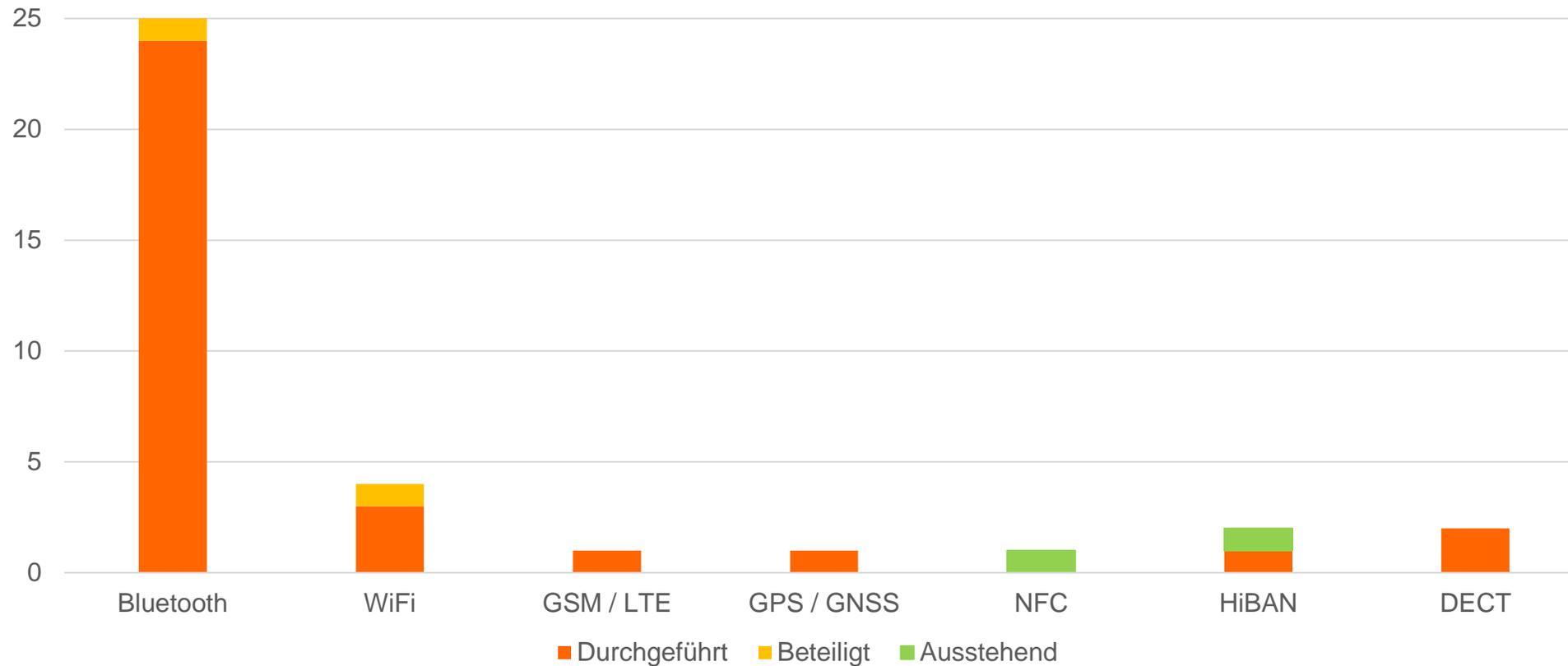
### Flat Design

- Erhöhter Testaufwand
- Verifizieren von Gesamtfunktion und Performance

Tipp: RF Messung wenn möglich kabelgebunden durchführen!

## Durchgeführte Projekte

RF Projekte 2010 - 2022



## Herausforderungen

### Qualität

- Definieren von sinnvollen Pass / Fail Kriterien → erfordert Messreihen
- Testumgebung / Produktionsumgebung muss „kalibriert“ werden → gute / schlechte Samples
- Reproduzierbarkeit (Positionierung, Aufbau..)
- Immunität gegenüber Störer (Schirmung..)

### Effizienz

- Testzeit und Aufwand minimieren (Kosten)
- Programmieren von Testfirmware und aktivieren von Testmodi

### Kosten

- Testaufbau
- Prüfgeräte
- Operator, Testzeit

## Übliche Probleme

| Symptom                 | Ursache  | Folgen   | Test  |
|-------------------------|--|--|---|
| Niedrige Sendeleistung  | Schlechte Lötstellen<br>Fehlerhafte Anpassung<br>Antenne verstimmt                           | Reduzierte Funkreichweite<br>Erhöhter Stromverbrauch<br>Reduzierte Batterie Laufzeit | Messen von Sendeleistung<br>Messen von BER / PER in Tx Modus<br>Messen von RSSI in Tx Modus |
| Niedrige Sensitivität   | Schlechte Lötstellen<br>Fehlerhafte Anpassung<br>Antenne verstimmt<br>Lokale Störer (DCDC..) | Reduzierte Funkreichweite<br>Erhöhter Stromverbrauch<br>Reduzierte Batterie Laufzeit | Messen von BER / PER in Rx Modus<br>Messen von RSSI in Rx Modus                             |
| Starke Harmonische      | Fehlerhaftes Harmonic Filter   | Gerät stört Umgebung   | Messen von Spektrum   |
| Sendefrequenz verstimmt | Fehlerhafte Takterzeugung<br>Quarz oder Tuning Kondensatoren fehlerhaft                      | Reduzierte Funkreichweite<br>Erhöhter Stromverbrauch<br>Reduzierte Batterie Laufzeit | Messen von Spektrum   |
| Hoher Stromverbrauch    | Bauteile defekt<br>Kurzschlüsse  | Reduzierte Funkreichweite<br>Reduzierte Batterie Laufzeit                            | Messen von Strom in Rx / Tx Modus   |
|                         | Änderungen an Bauteilen, Toleranzen<br>Änderungen an Materialien (FR4, Gehäuse..)            | Antenne verstimmt<br>Reduzierte Funkreichweite<br>Reduzierte Batterie Laufzeit       |   |

## Überlegungen

- Welche Tests sind sinnvoll / notwendig?
- Welche Testmittel werden benötigt?
- Welche Testmittel besitzt der Fertiger? womit kann er effizient arbeiten?
- Welche Normen müssen erfüllt werden? Medical erfordert kalibrierte Messgeräte!
- Wie müssen Testergebnisse gewertet / gespeichert werden?
- Wie messen ohne DUT zu beeinflussen? (unverbauter Zustand, Nahfeld..)
- Wie kann stabile Testumgebung gewährleistet werden?
- Produktionstest „zu Hause“ ausprobieren und nachstellen

## Produktion

### Vorgehensweise

- Gute und schlechte Samples erstellen
- Tests definieren
- Testdurchlauf mit guten und schlechten Samples, Kriterien definieren und anpassen
- Testdurchlauf mit grösserer Stückzahl, Messwerte auswerten und Kriterien optimieren

### Bei jedem Produktionslos

- Testdurchlauf mit guten und schlechten Samples
- Serie testen
- (Testdurchlauf mit guten und schlechten Samples)

## Generelle Testverfahren

### Radio

- Ausgangsleistung messen (CW empfohlen wenn möglich)
- Harmonische messen
- Sendefrequenz messen
- Stromverbrauch messen während senden / empfangen

### Protokolle

- Verbindung zu modifiziertem Testgerät / Gateway aufbauen (mit Attenuator)
- Linkqualität (RSSI) ermitteln

## Übliche Testverfahren für Bluetooth

### DTM (Direct Test Mode)

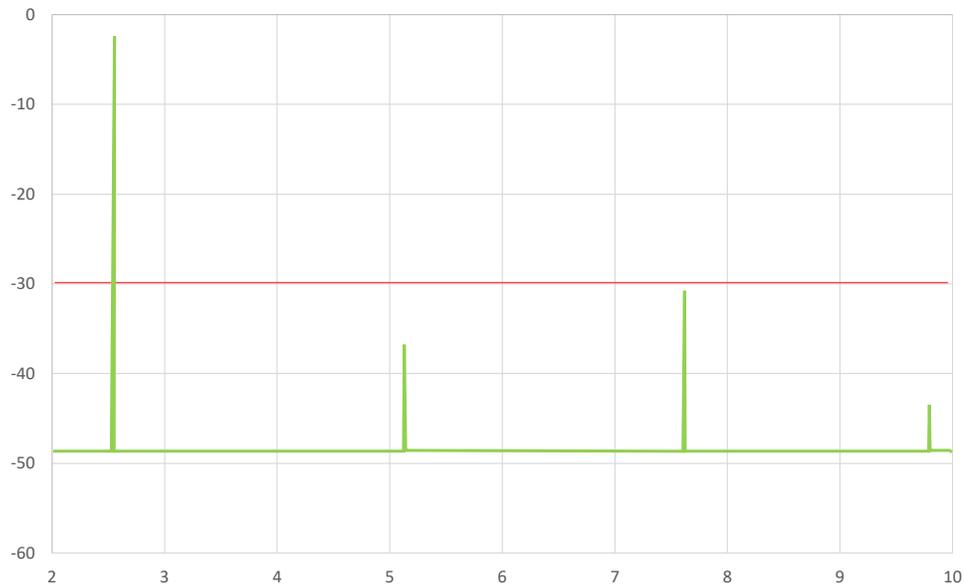
- Standard, von Bluetooth SIG spezifiziert
- Aussagekräftig, aber umständlich im Testablauf
- Benötigt eigene DTM Firmware und Testroutine
- Benötigt UART Verbindung für bidirektionalen Test

### BLE scannen, verbinden

- Ermöglicht „echten“ Test des Geräts
- Pass / Fail Aussage möglich
- Keine Umprogrammierung oder Testroutine nötig
- Erfordert Schirmung oder Kenntnis der Bluetooth Adresse

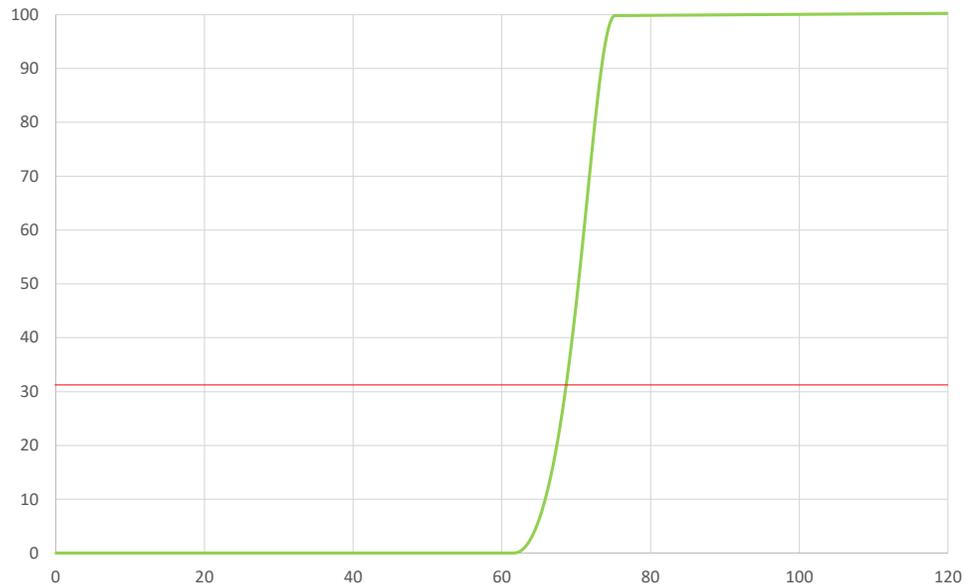
## Messen von Ausgangsleistung und Harmonische

- Kontrolle ob gewünschte Leistung OK
- Ermöglicht Detektion von fehlerhaftem Harmonic Filter
- Frequenz kontrollieren
- CW Betrieb empfohlen
- Relativ schnell und unkompliziert
- Erfordert Spektrum Analyzer oder ähnliches Messgerät



## BER und PER Messung

- Geeignet um einen Link auf Verbindungsebene zu testen
- Testen bei fixer Abschwächung (PASS / FAIL)
- Testen bei variabler Abschwächung (Sensitivität)
- Sehr aufschlussreich und genau
- Aufwändig, da Firmware mit Test Modus nötig



## RSSI Messung

- Unkompliziert
- Nicht so genau und aussagekräftig
- Gut für PASS / FAIL Kriterien

### Visible peripherals (9)

Select peripheral for observation and connection

|   |                              |                                  |                          |
|---|------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
|  -29   | Thingy<br>DA:14:EA:A3:08:C8  | <input type="checkbox"/> connect | <input type="checkbox"/> |
|  -29   | unknown<br>DA:14:EA:A3:08:CA | <input type="checkbox"/> connect | <input type="checkbox"/> |
|  -36 | Thingy1<br>E8:A6:29:06:2B:51 | <input type="checkbox"/> connect | <input type="checkbox"/> |
|  20  | unknown<br>E8:A6:29:06:2B:52 | <input type="checkbox"/> connect | <input type="checkbox"/> |

scan   
  connectable only   
  sort by RSSI

## Prüfmittel

**FREE ★**

**\$0**

- ✓ Pass / fail Test
- ✓ Protokoll Test



**SIMPLE ★★**

**\$100**

- ✓ Pass / fail Test
- ✓ Protokoll Test
- ✓ DTM Messung
- ✓ Automatisierung



**PRO ★★★**

**\$4k**

- ✓ Pass / fail Test
- ✓ Protokoll Test
- ✓ DTM Messung
- ✓ Automatisierung
- ✓ Power Messung
- ✓ Sensitivität
- ✓ Kalibriert (ISO 9001)

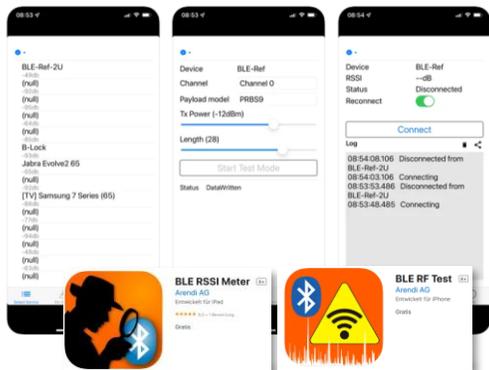


**MAX ★★★★★**

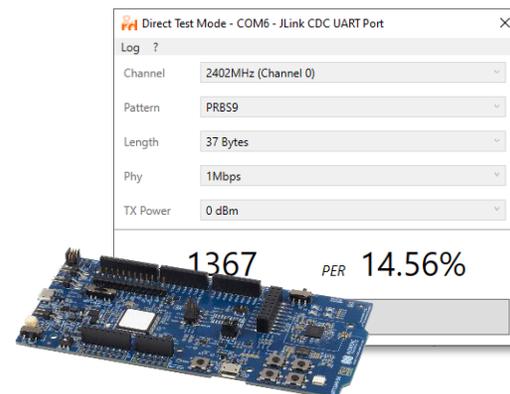
**\$25k - 60k**

- ✓ Pass / fail Test
- ✓ Protokoll Test
- ✓ DTM Messung
- ✓ Automatisierung
- ✓ Power Messung
- ✓ Sensitivität
- ✓ Kalibriert
- ✓ Harmonische
- ✓ Signalform
- ✓ ...

Manuelles Testing via App



Automatisiertes Testing mit DevKit



Automatisiertes Testing mit BLT2450



Automatisiertes Testing mit Tester namhafter Hersteller

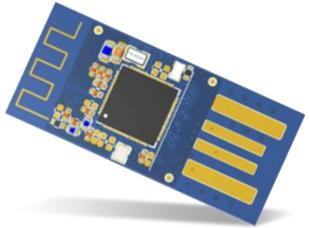


## Vorteile von BLT2450

- Massgeschneiderte Bluetooth Lösung, deckt meiste Fälle gut ab
- Für Entwicklung und Produktion
- Reproduzierbare Messungen dank Kalibration (EN ISO 9001)
- Geeignet für Medical Anwendungen (ISO 13485)
- Einfacher Einstieg
- Automatisierung durch Library und Scripts
- Kostengünstig, ermöglicht mehrere Geräte z.B. für Entwicklung und Produktion



## Praxisbeispiele



Bluetooth USB Dongle (1k pro Jahr)

- Manueller Test und Auswertung
- Umprogrammierung während dem Test
- Hohe Testzeit und Testkosten, niedrige Aufbaukosten

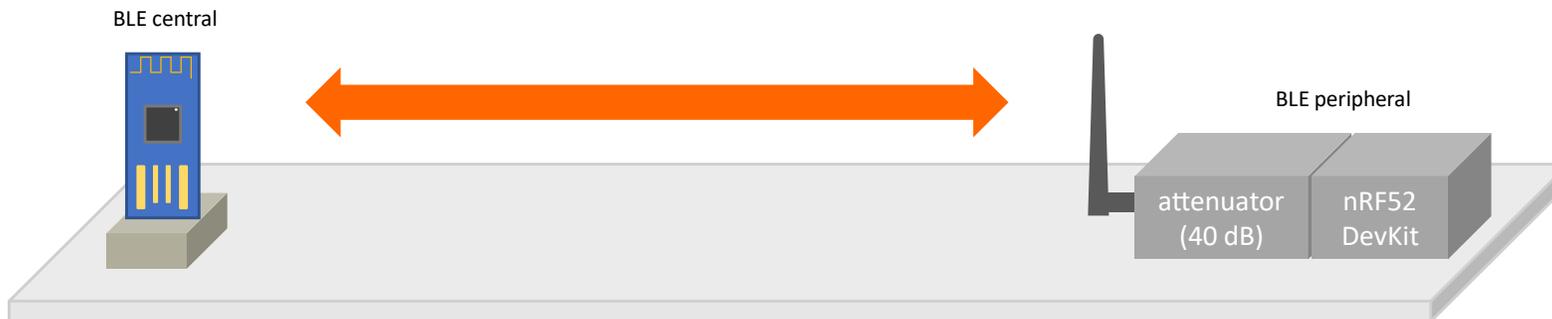


Bluetooth Modul (>100k pro Jahr)

- Vollautomatisierter Test mit Auswertung und Statistik
- Ausführliche Tests
- Getrimmt auf kurze Testzeit
- Kurze Testzeit und niedrige Testkosten, hohe Aufbaukosten

## Bluetooth USB Dongle, manueller Test

- Programmierung auf separatem Nadeladapter
- RF Messungen ohne Schirmung
- Steuerung von DUT via USB (virtual COM port)
- Verbindungsaufbau mittels BLE
- Auswerten und loggen von RSSI Wert (advertising und connected)
- RF Testzeit: 4 Sekunden
- RF Tester: Modifiziertes DevKit



```

RSL10 Dongle gefunden: COM1
Image      : DONG_R ver=1.1.0
Application: DONG_R ver=1.1.0
Bootloader : BOOT_R ver=1.1.0
*****
RSL10-Test (1.1.0.15640)

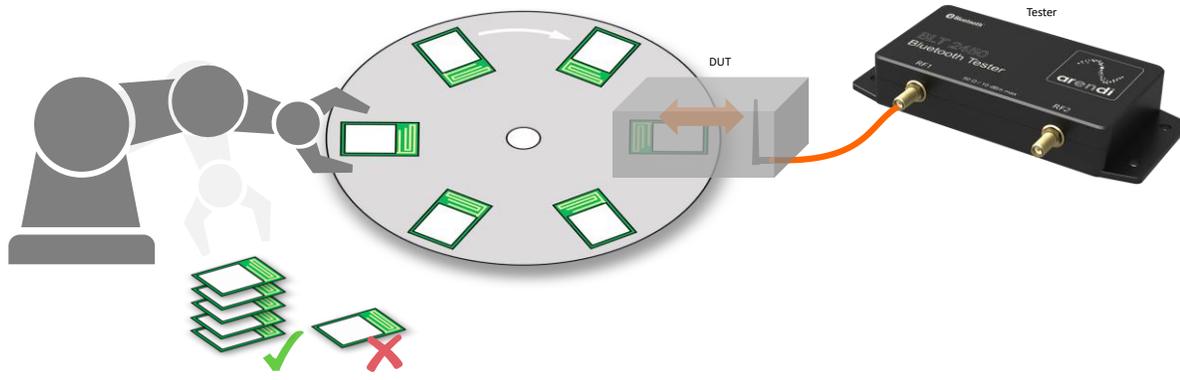
Searching for tester with RSSI greater than -100dBm...
Found tester (Name:BLE-Tester Address:E3:2E:AB:54:12:01
RSSI:-95dBm)
Connecting...
Connected
Connect duration: 1328ms
Connected RSSI: -100dBm
Disconnecting...
Disconnected
Disconnect duration: 31ms
PASS

=====
TEST OK
=====

Entferne den RSL10-Dongle und stecke neuen RSL10-Dongle
ein
Drücken Sie eine beliebige Taste . . .
  
```

## Bluetooth Modul, vollautomatisierter Test

- Programmierung und Testing auf Rundtaktisch
- RF Messungen in geschirmter Umgebung
- Steuern von DUT via UART und Testfirmware
- Messen und loggen von abgestrahlter Leistung (CW)
- Messen von PER bei fixer Attenuation (Rx und Tx)
- Messen und loggen von PER
- Messen und loggen von Strom während Rx und Tx
- RF Testzeit: 8 Sekunden
- RF Tester: BLT2450



## Bluetooth Modul, Vorgehensweise

- RF Tests definieren
- Gute Samples bestimmen: Abgestrahlte Leistung, Stromaufnahme, Sensitivität
- Schlechte Samples erstellen: Fehlerhaftes Harmonic Filter, Fehlerstrom, tiefe Sendeleistung
- Testanlage auf gute / schlechte Samples einschicken
- Testdurchlauf mit 20 ungetesteten Samples
- Auswerten der Messdaten
- Grenzwerte anpassen und fixieren
- Produktionslos testen

## Key Takeaways

- Produktionstest notwendig
- Verwenden von Modulen vereinfacht Testing
- Breites Spektrum an Testmöglichkeiten
- Messen unter realistischen Bedingungen (Gehäuse..)
- Testen in geschirmter Umgebung wenn möglich
- Kabelgebunden testen wenn möglich und sinnvoll
- Testumgebung und Testgeräte müssen stabil sein
- Testumgebung und Testgeräte regelmässig überprüfen

**Wir sind Ihre Lösung.**

**Arendi AG**  
Eichtalstrasse 55  
8634 Hombrechtikon  
Schweiz

**[www.arendi.ch](http://www.arendi.ch)**

r&d