

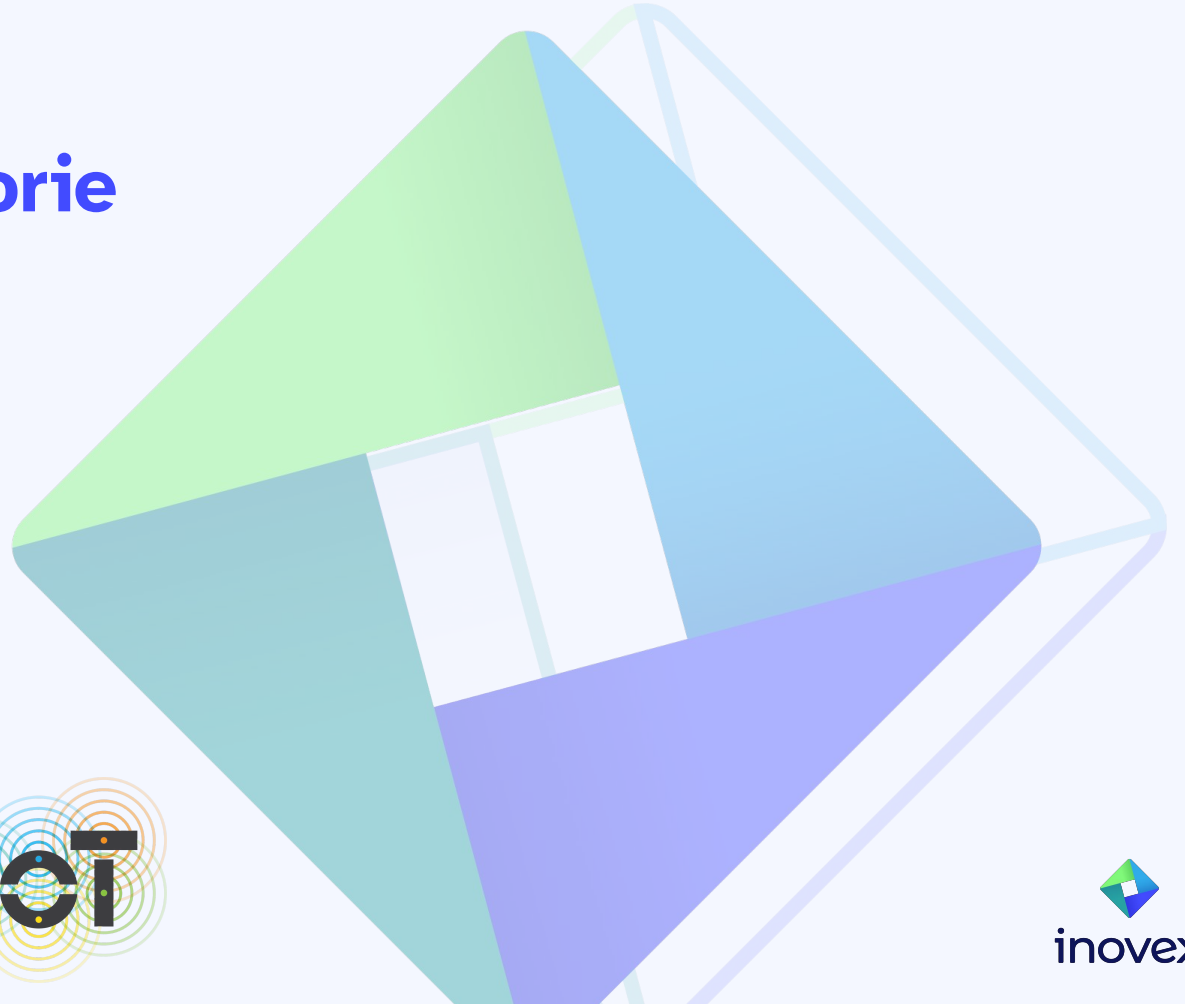
LoRaWAN in Theorie und Praxis

Ein Ausflug durch München

Paul Ziegemann

Anna-Lena Marx

21. Februar 2024



Anna-Lena Marx



[Anna-Lena Marx](#)



anna-lena.marx@inovex.de



[marx.engineer](#)

Embedded Systems Developer

- seit 2015 bei inovex
- hat einen Master in Embedded Systems
- studiert Elektrotechnik als Hobby

Fokusthemen

- Embedded Systems
- Yocto Linux
- Linux Kernel
- AOSP/AAOS
- IoT

Paul Ziegemann



Application Dev at inovex

- React
- Spring Boot
- IoT-Data Infrastructure



[Paul Ziegemann](#)

B.Ing - Geoinformatik und Navigation



paul.ziegemann@inovex.de

M.Sc - Informatik - ongoing



[PaulZiegemann](#)

LoRa(WAN)

Was ist das überhaupt?

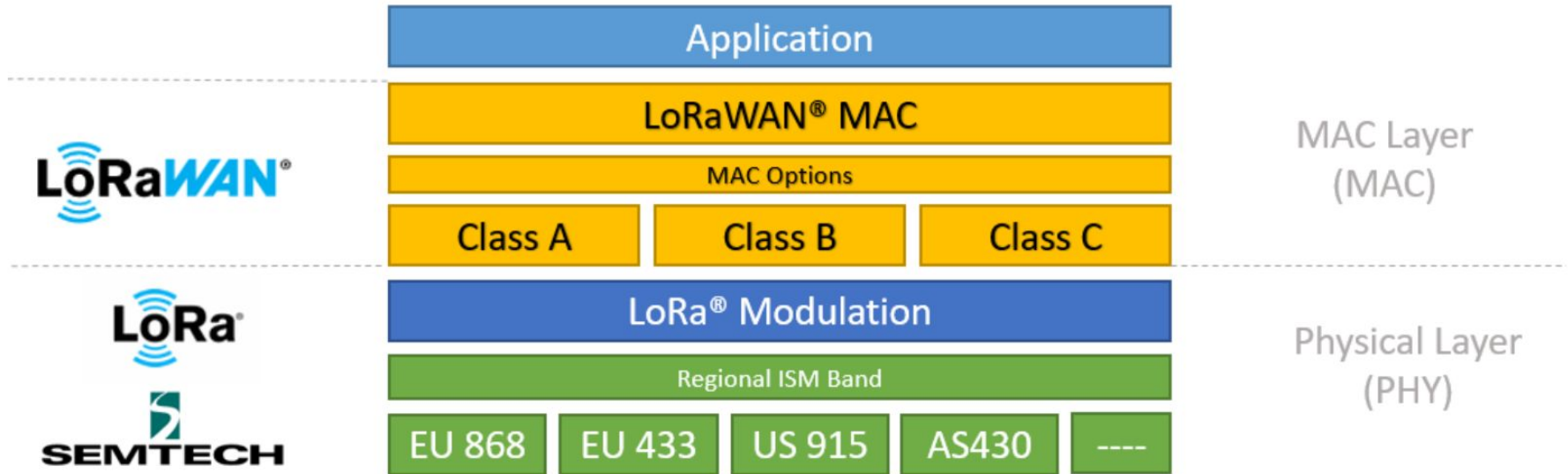


Figure 7: LoRaWAN technology stack



Long Range

- Deep indoor coverage (including multi-floor buildings)
- Star topology network design



Long Battery Life

- Low-power optimized
- Up to 10-year lifetime
- Up to 10x versus Cellular M2M



High Capacity

- High capacity – millions of messages per base station / gateway
- Multi-tenant interoperability
- Public or private network deployments



Low Cost

- Minimal infrastructure
- Low cost end-node
- Open source software



Geolocation

- Indoor/outdoor
- Accurate without the need for GPS
- No battery life impact



FUOTA

- Firmware Updates Over-the-Air for applications and the LoRaWAN stack



Roaming

- Roaming: Seamless handovers from one network to another



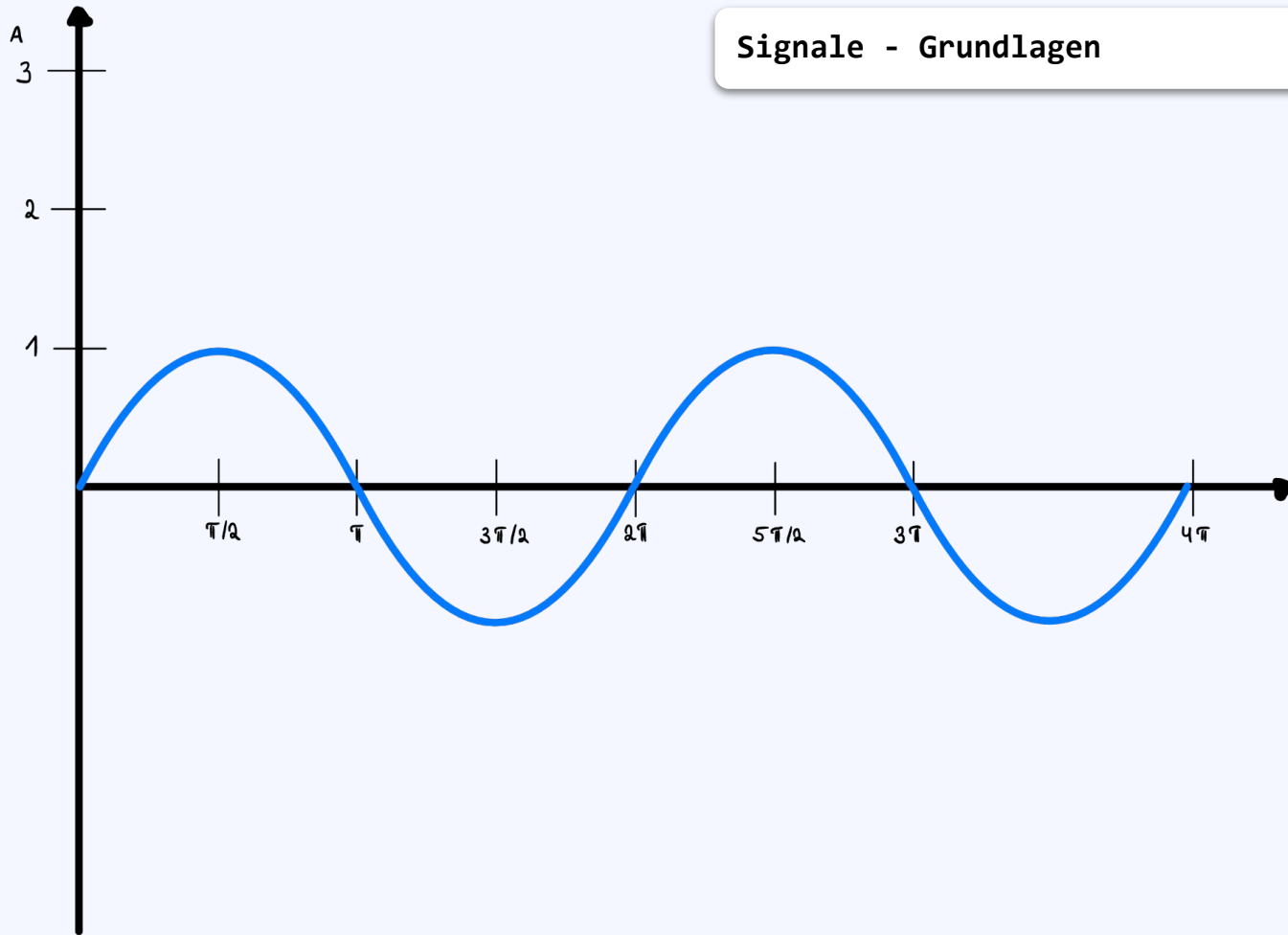
Security

- Embedded end-to-end AES-128 encryption
- Unique ID
- Application
- Network

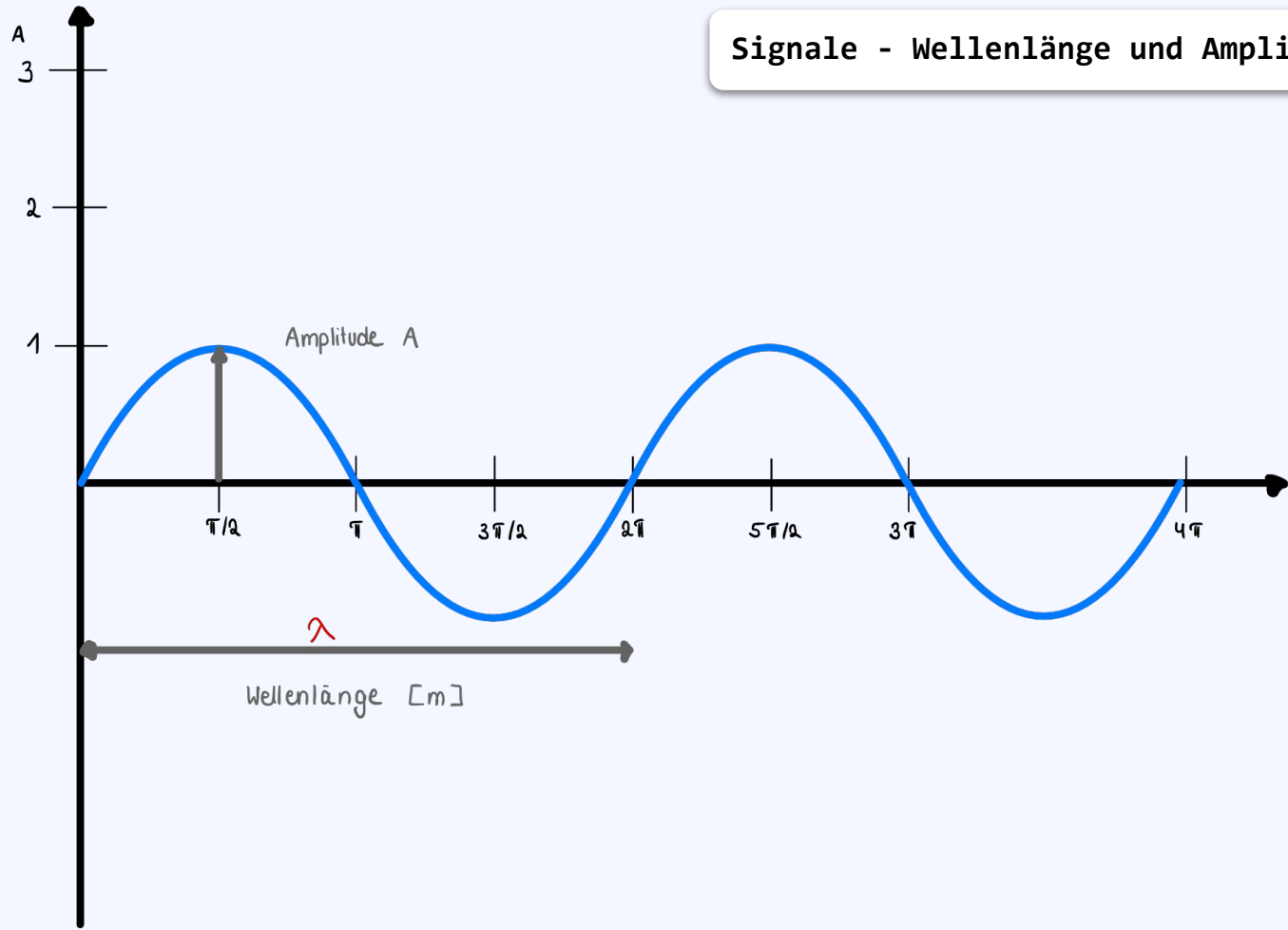
LoRa

Die technischen Grundlagen

Signale - Grundlagen

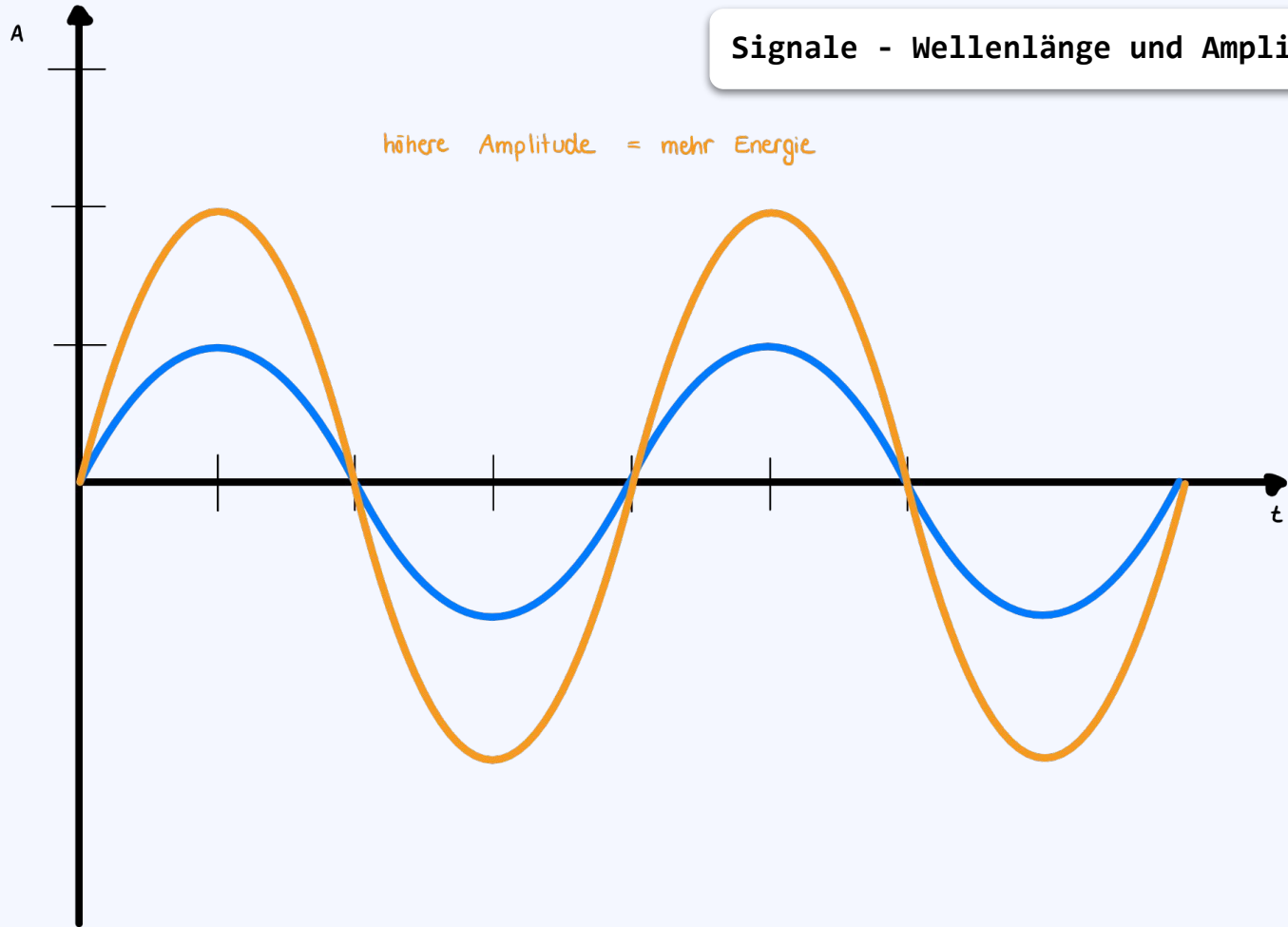


Signale - Wellenlänge und Amplitude



Signale - Wellenlänge und Amplitude

höhere Amplitude = mehr Energie



dB - Dezibel

$$L_P = 10 \log_{10} \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad [dB]$$

$dB > 0 \rightarrow$ Verstärkung

$dB < 0 \rightarrow$ Abschwächung

$dB = 0 \rightarrow$ keine Änderung

dBm - Dezibel pro Milliwatt

$$L_P = 10 \log_{10} \frac{P_{out}}{1mW} \quad [dB]$$

Regel der 10er und 3er

$$10 \text{ dB} = \times 10$$

$$-10 \text{ dB} = \div 10$$

$$3 \text{ dB} = \times 2$$

$$-3 \text{ dB} = \div 2$$

$$\begin{aligned} 17 \text{ dBm} &= 10 \text{ dB} + 10 \text{ dB} - 3 \text{ dB} \\ &= 1 \times 10 \times 10 \div 2 = 50 \text{ mW} \end{aligned}$$

dBi & dBd - Antennengewinn (isotrop & Dipol)

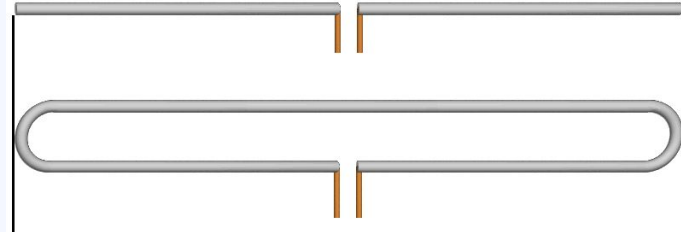
dBi

**Antennengewinn relativ zu
isotropen Antennen
(Punktstrahler, ideal)**

dBd

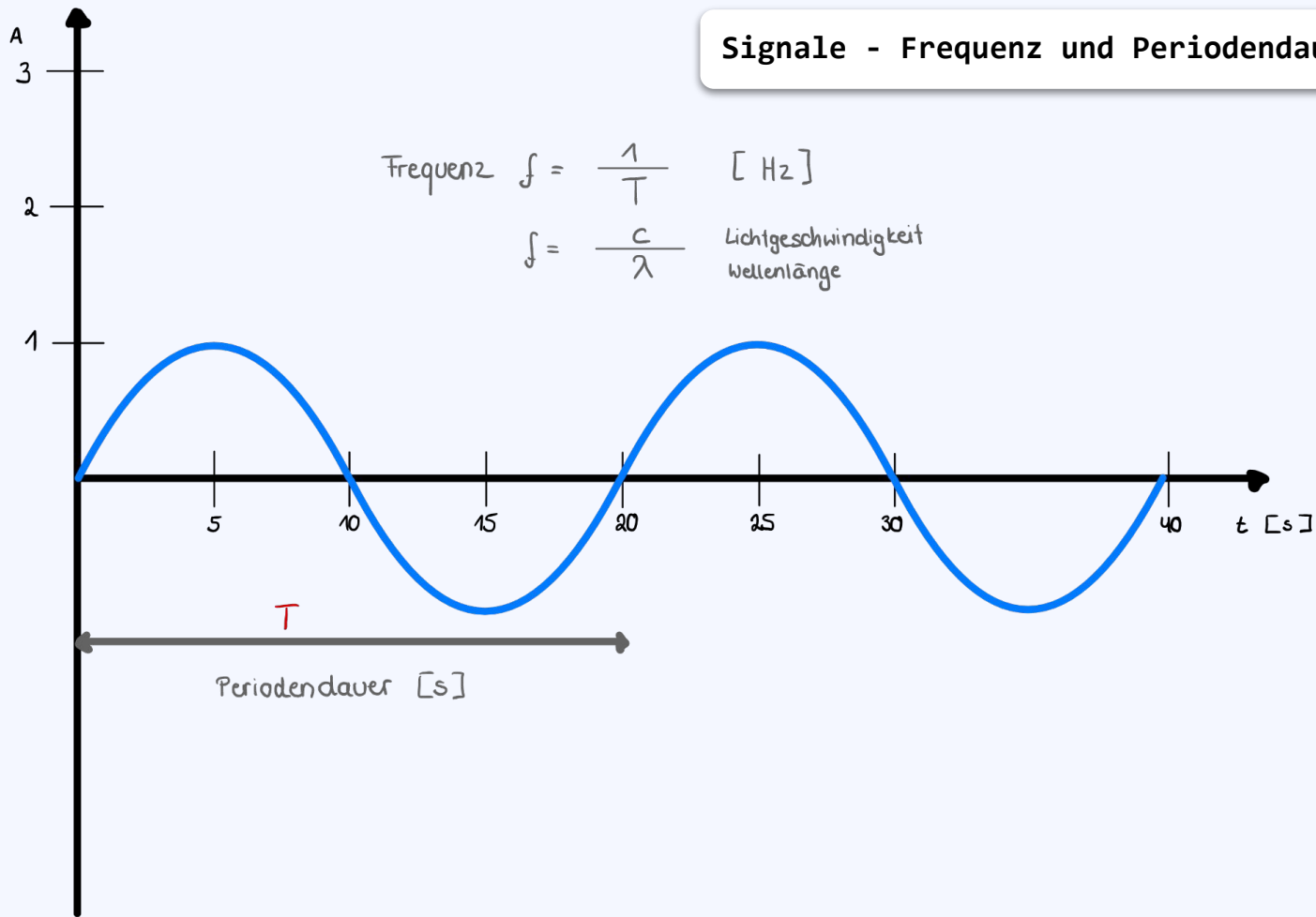
**Antennengewinn relativ zu
Dipol-Antennen**

$$dBd = 2,15 \times dBi$$



Signale - Frequenz und Periodendauer

$$\text{Frequenz } f = \frac{1}{T} \quad [\text{Hz}]$$
$$f = \frac{c}{\lambda} \quad \begin{array}{l} \text{Lichtgeschwindigkeit} \\ \text{Wellenlänge} \end{array}$$



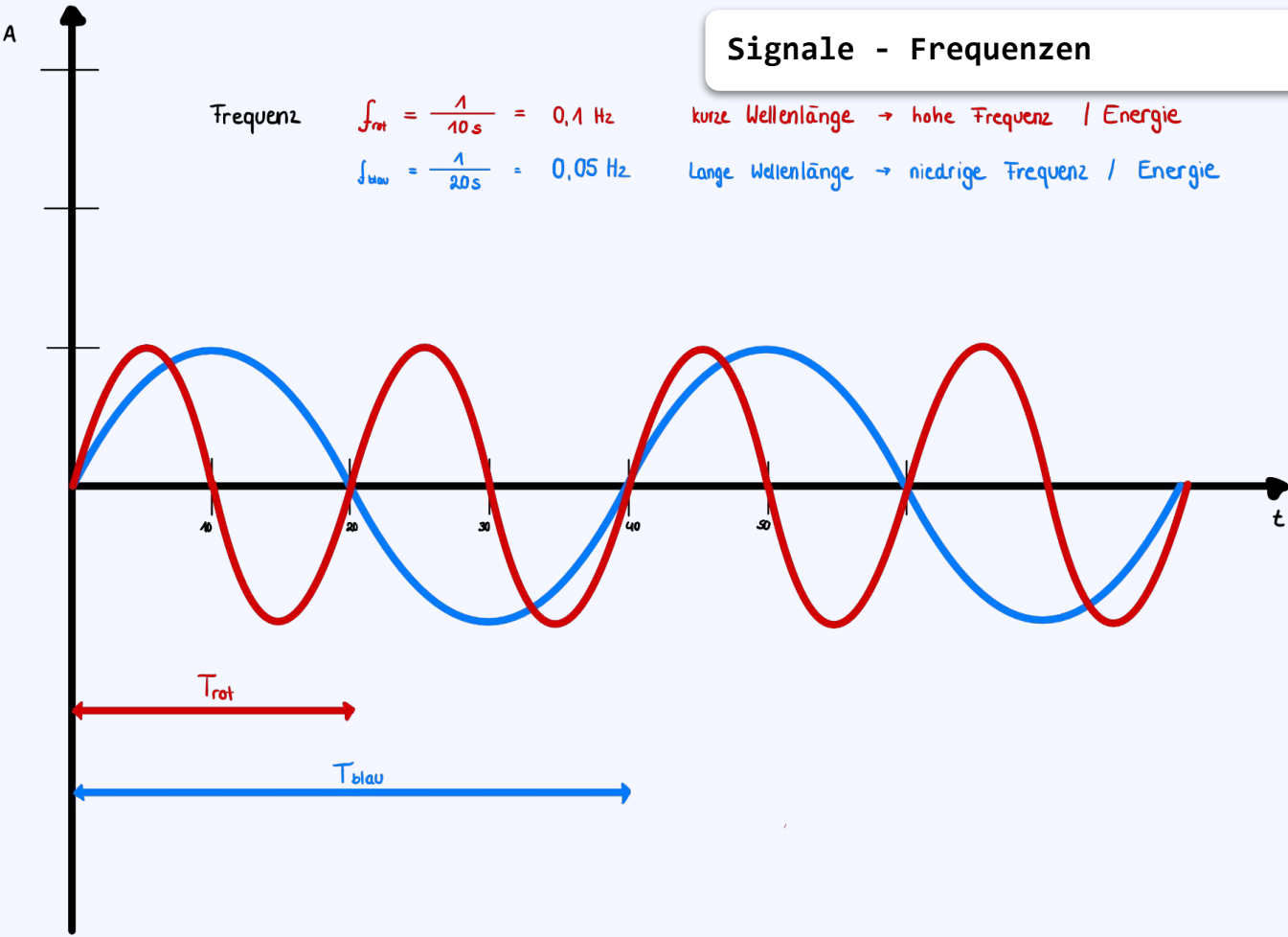
Signale - Frequenzen

Frequenz $f_{rot} = \frac{1}{10s} = 0,1 \text{ Hz}$

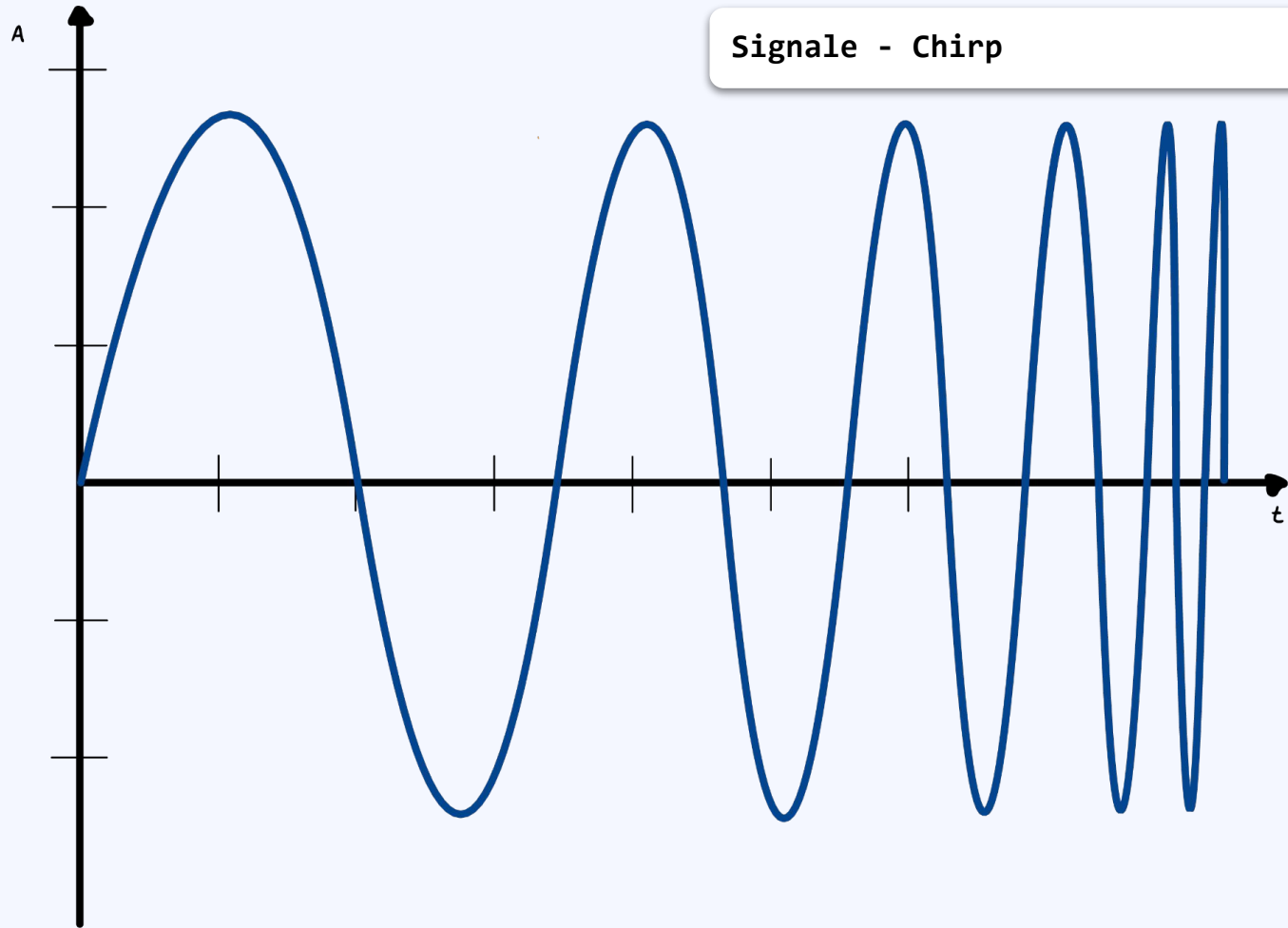
kurze Wellenlänge → hohe Frequenz / Energie

$f_{blau} = \frac{1}{20s} = 0,05 \text{ Hz}$

lange Wellenlänge → niedrige Frequenz / Energie



Signale - Chirp



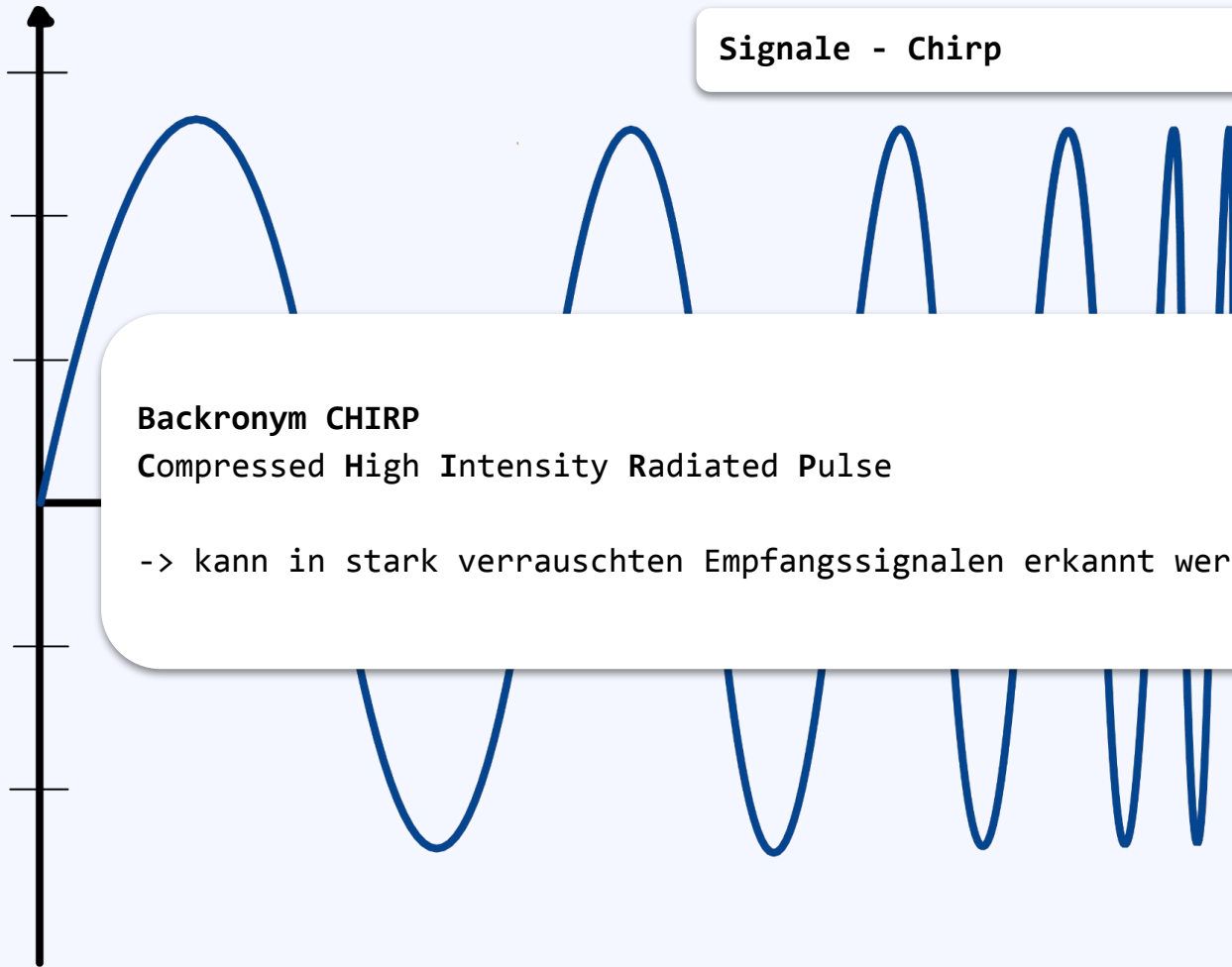
A

Signale - Chirp

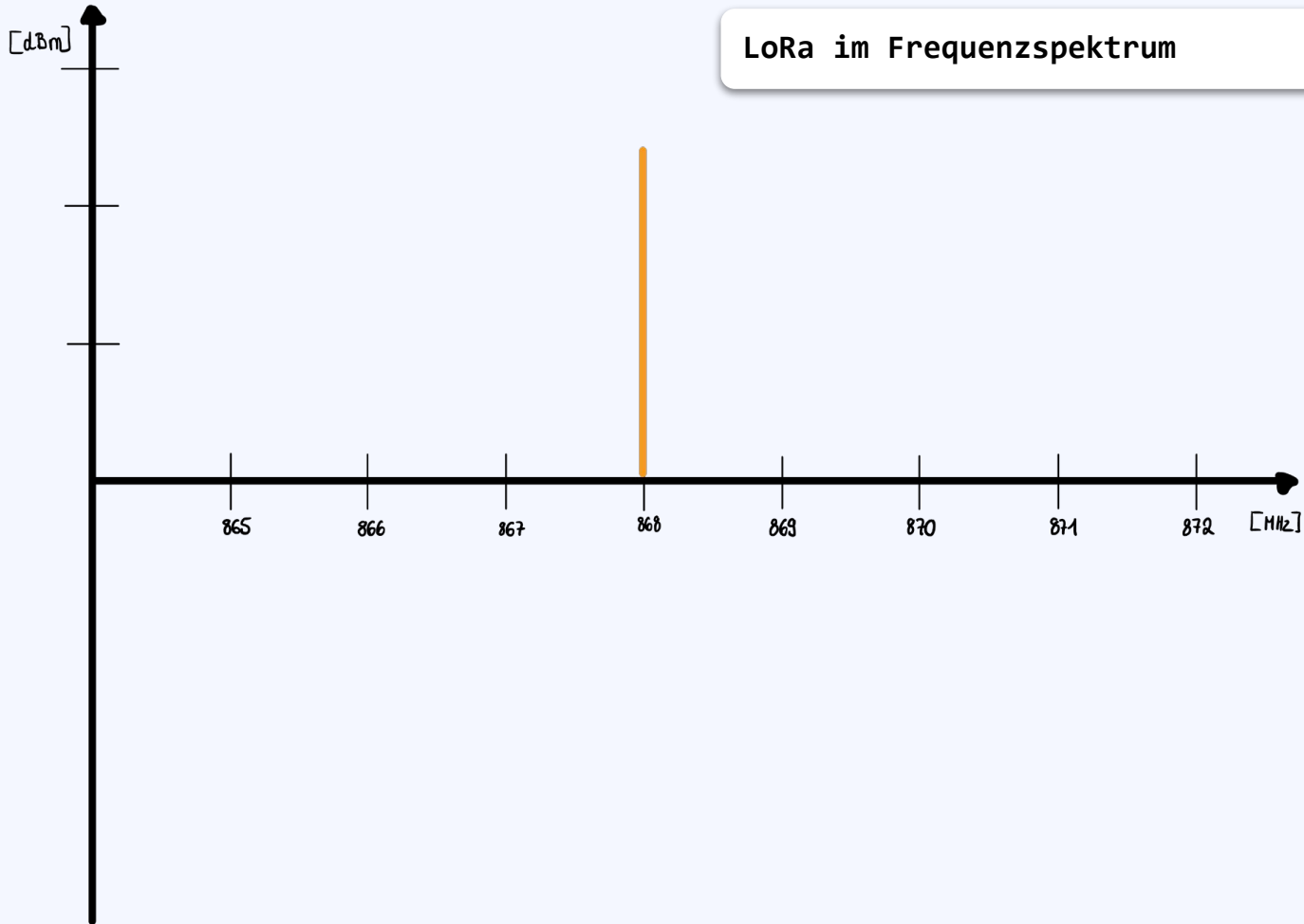
Backronym CHIRP

Compressed High Intensity Radiated Pulse

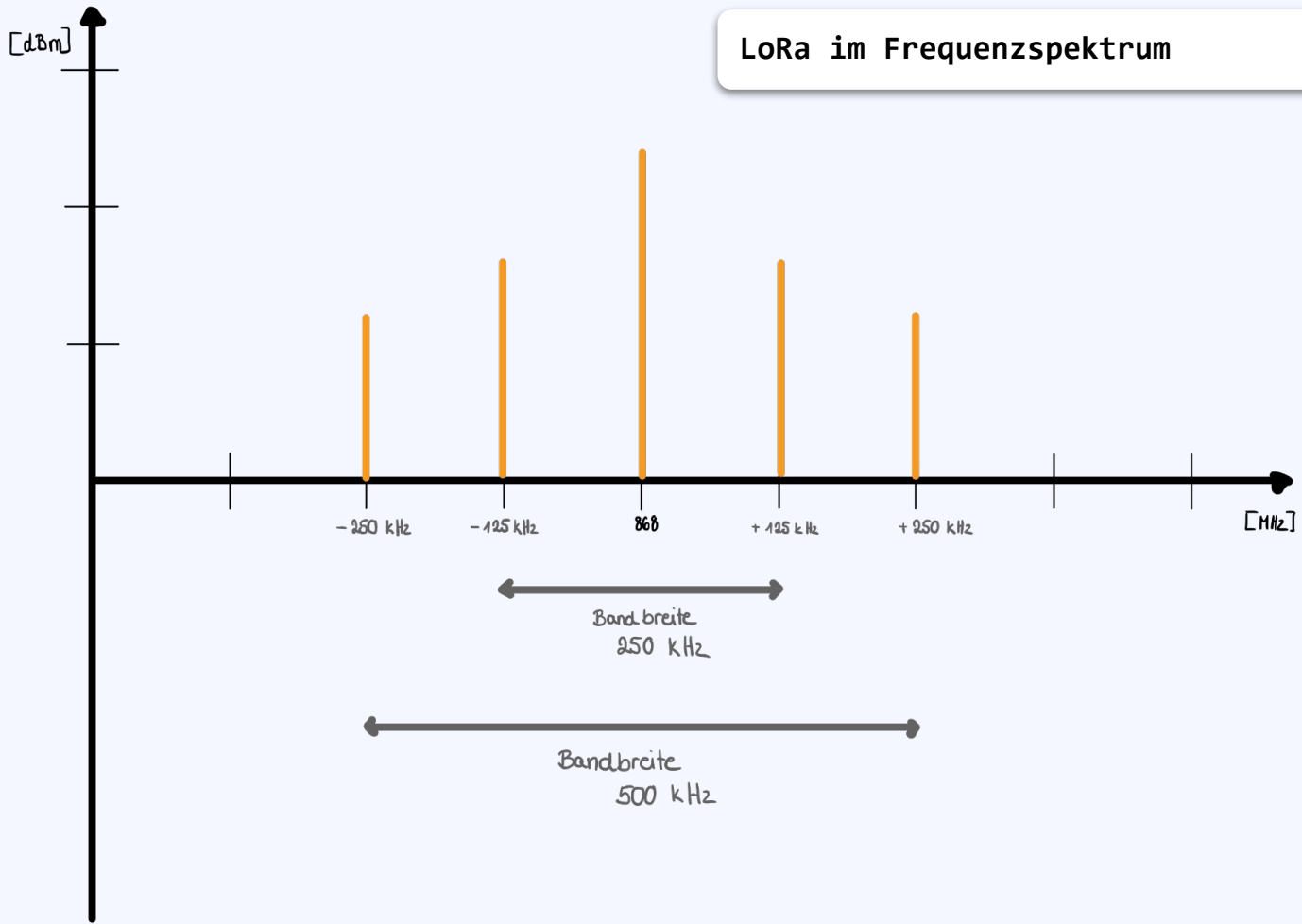
-> kann in stark verrauschten Empfangssignalen erkannt werden!

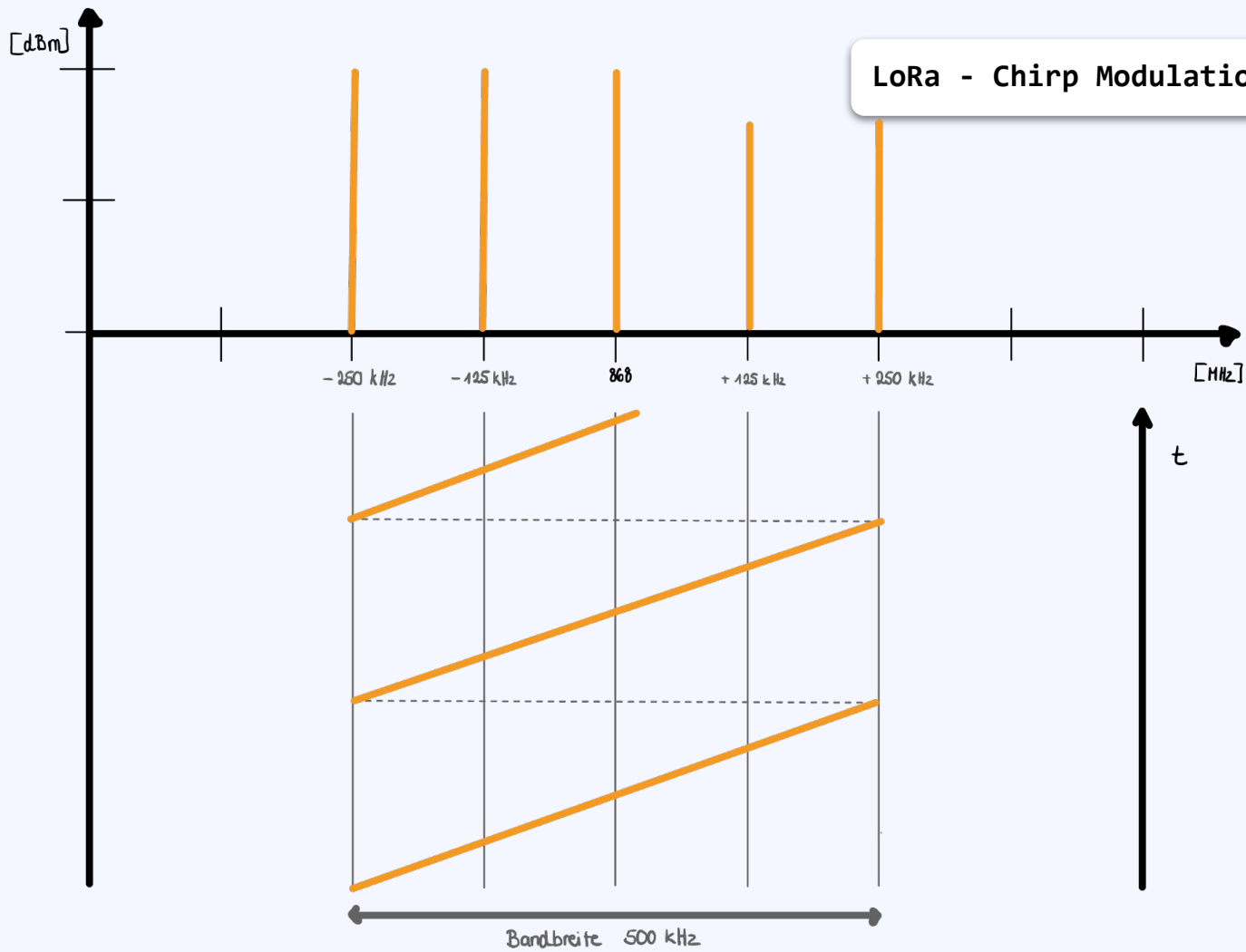


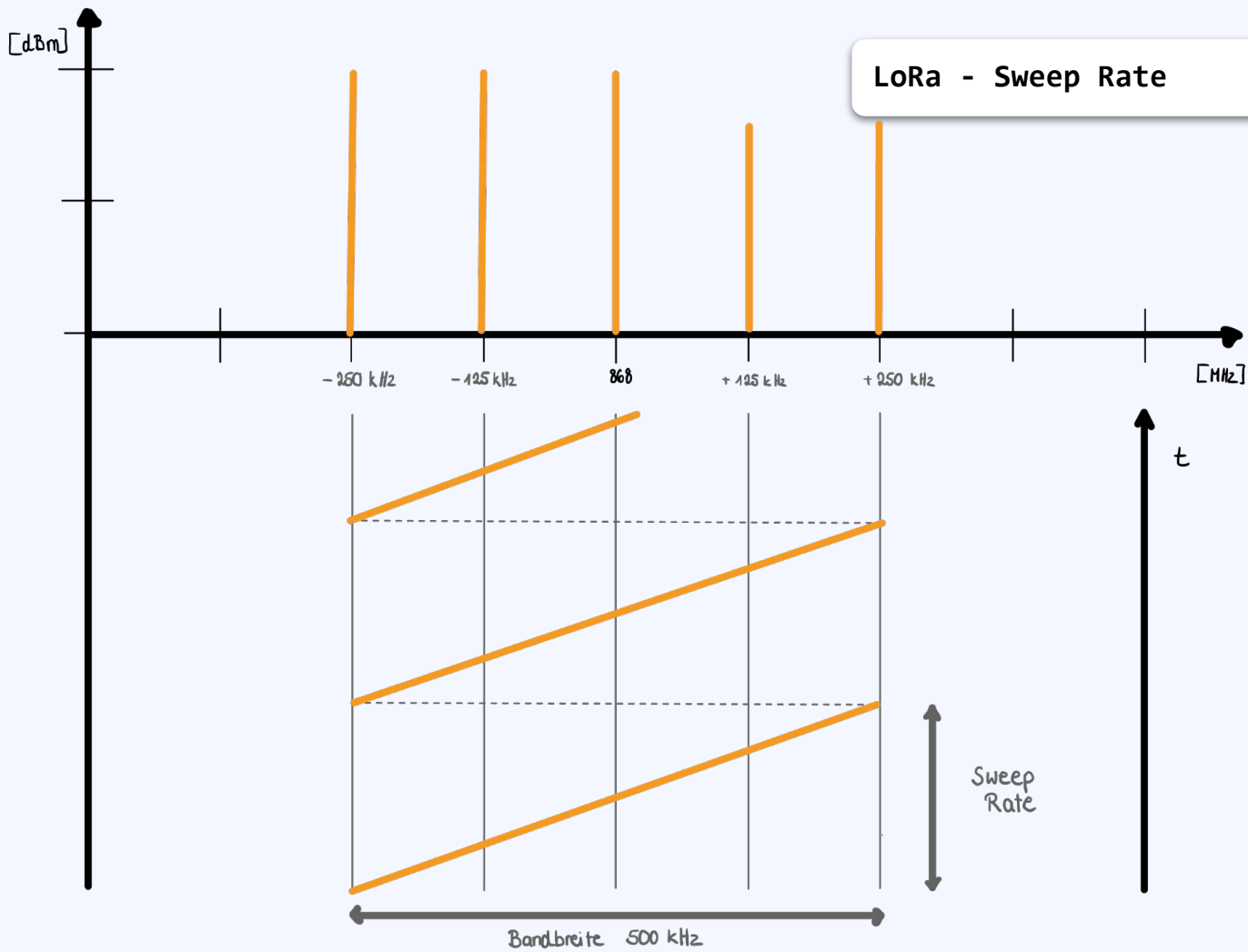
LoRa im Frequenzspektrum

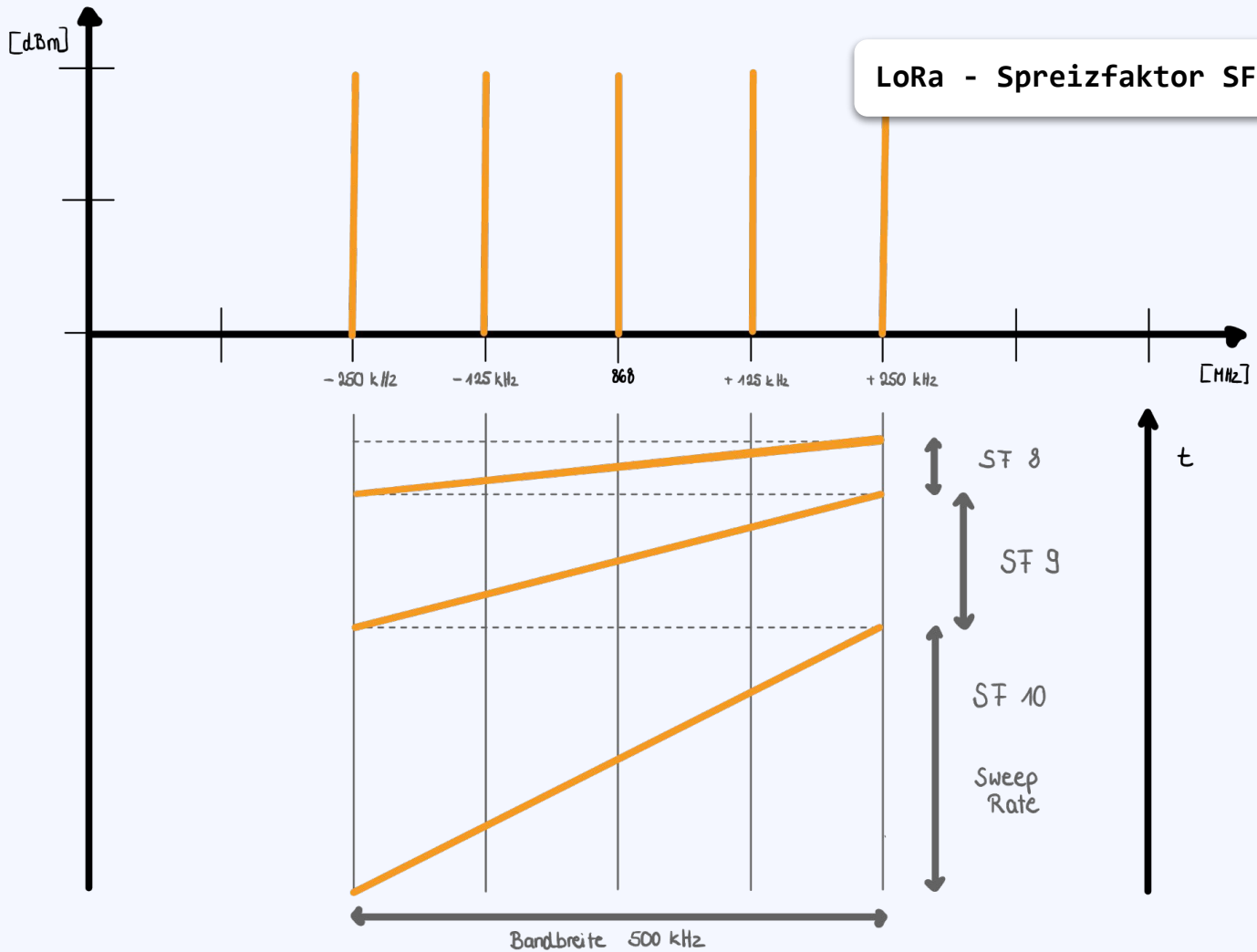


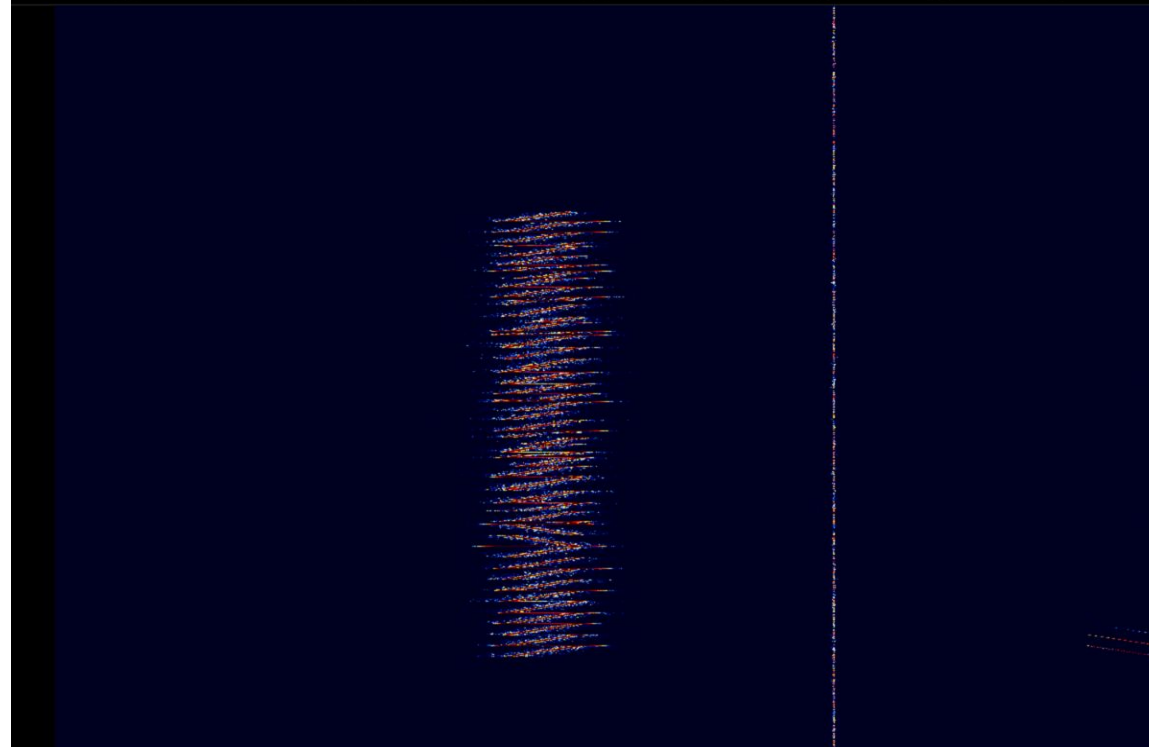
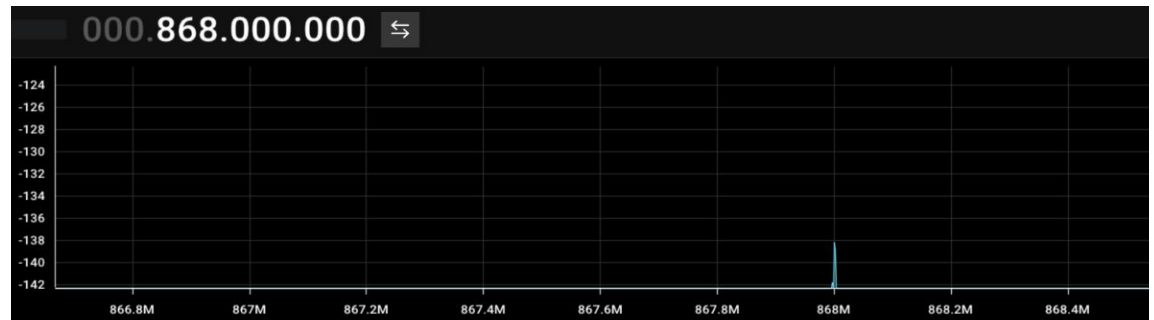
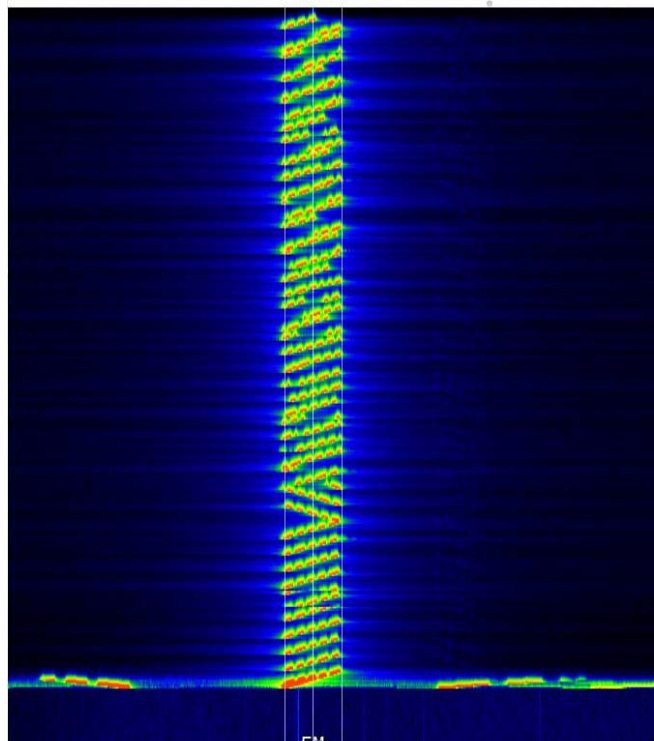
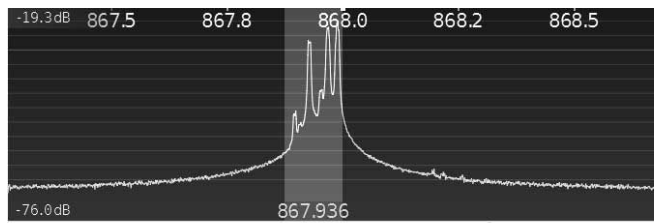
LoRa im Frequenzspektrum



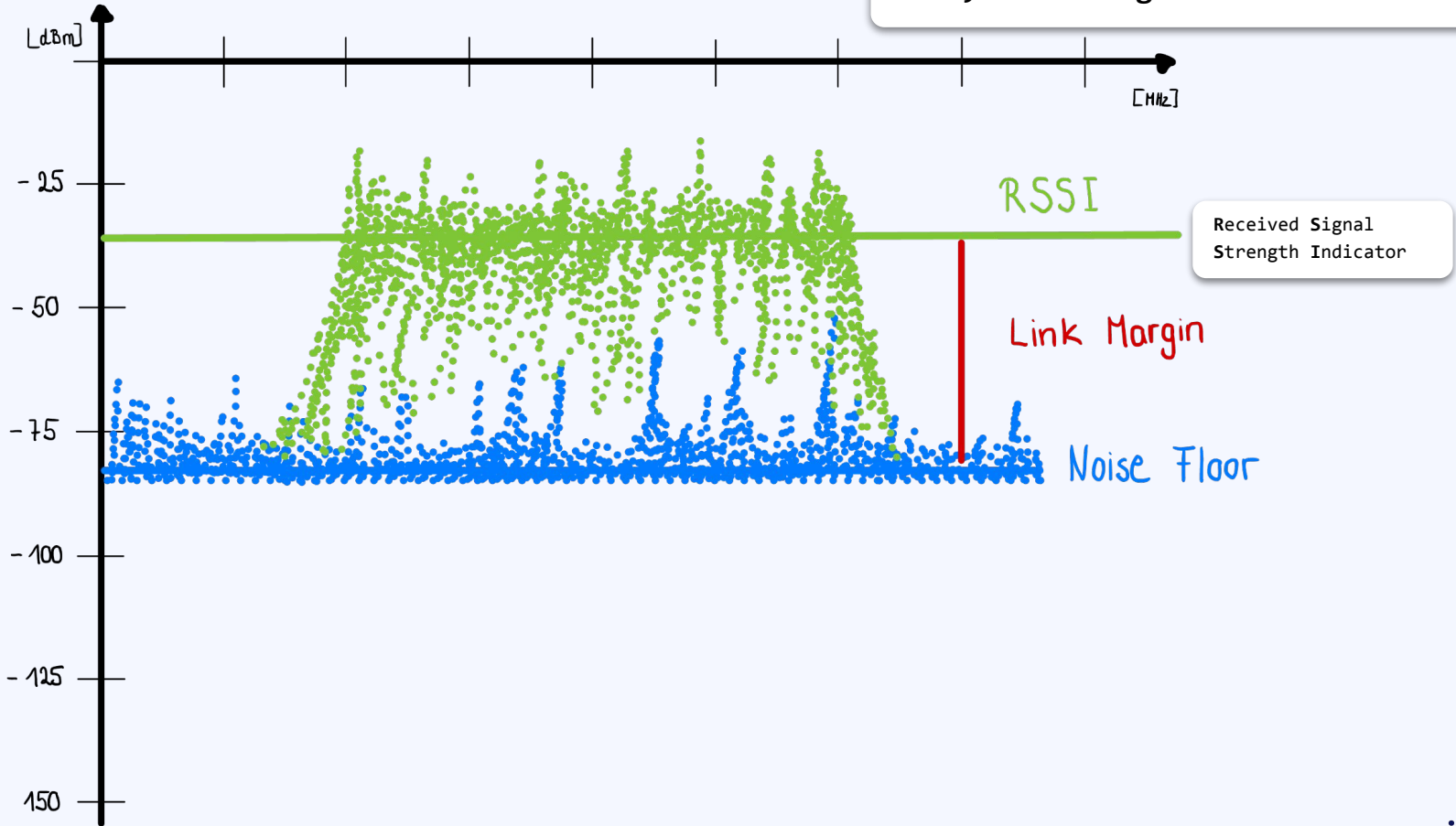




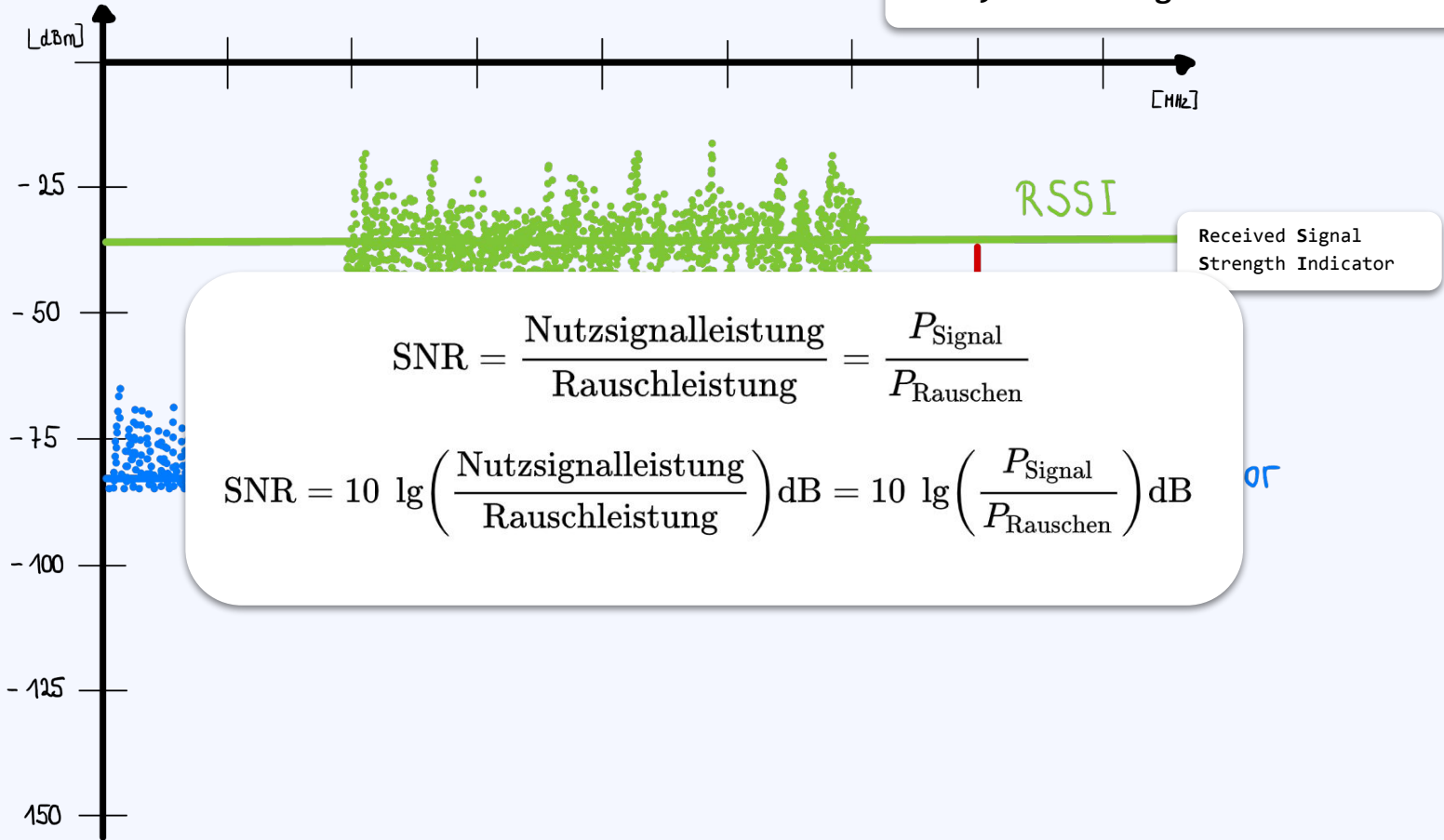




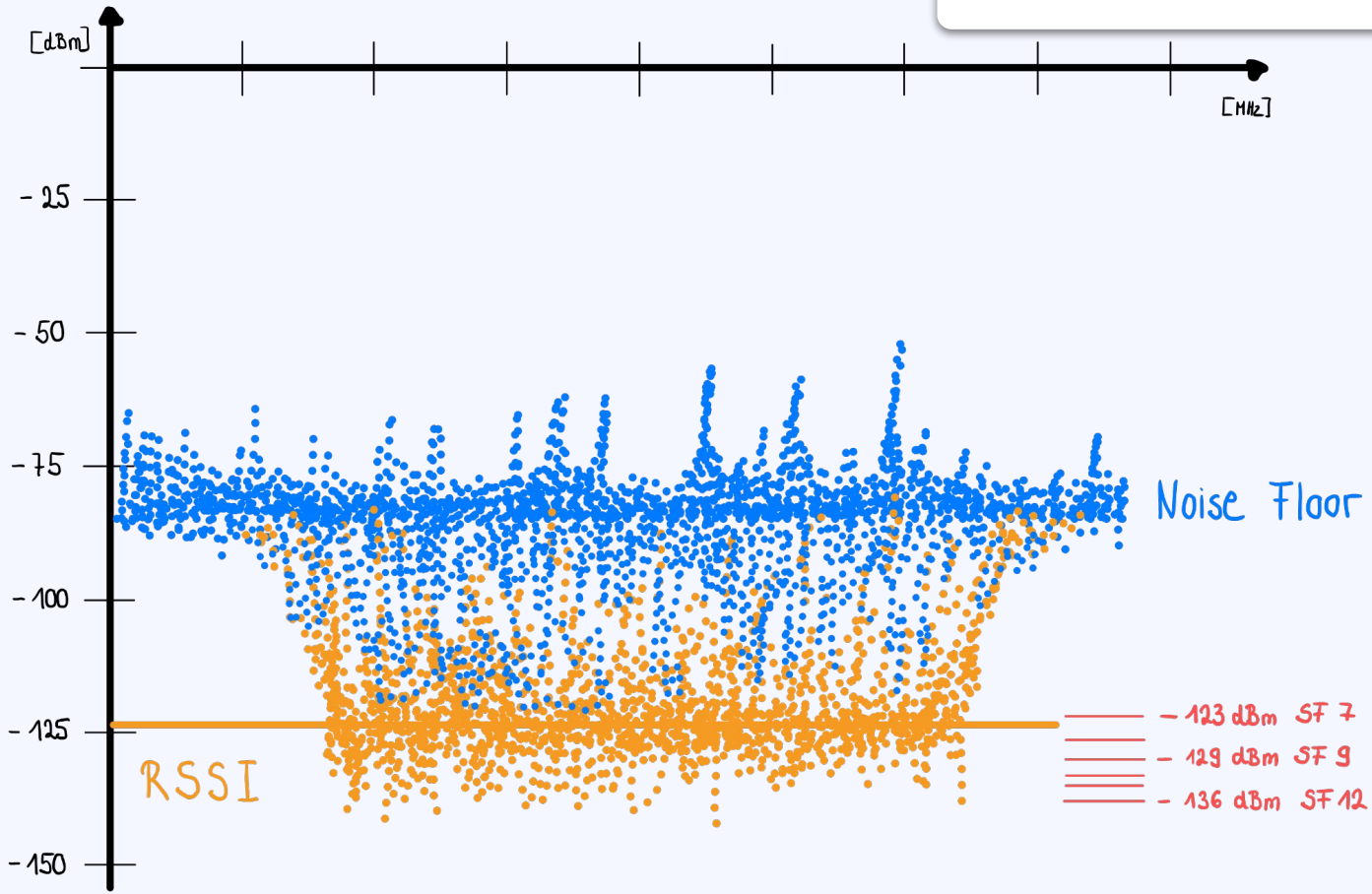
RSSI, Link Margin & Noise Floor



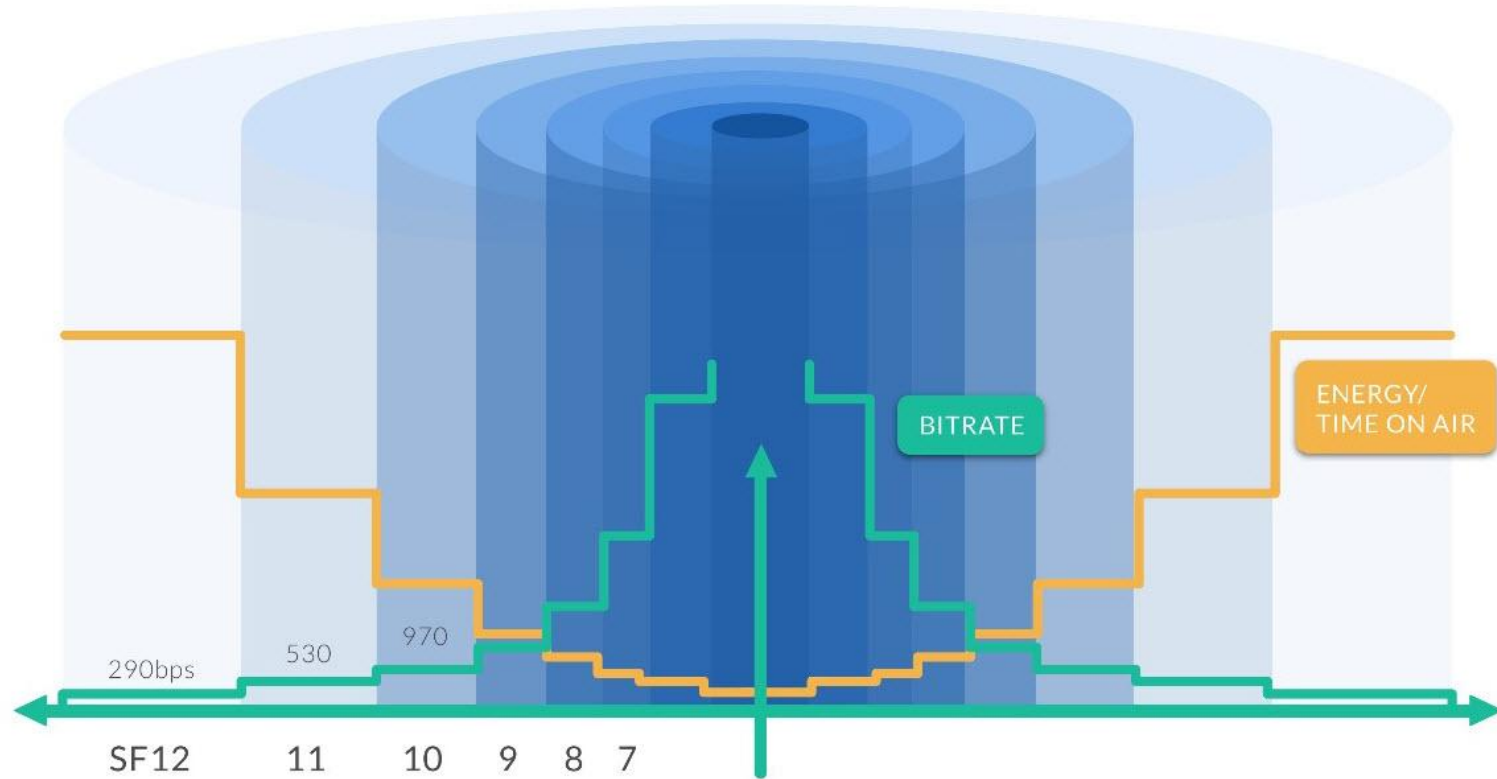
RSSI, Link Margin & Noise Floor



Situation bei LoRa



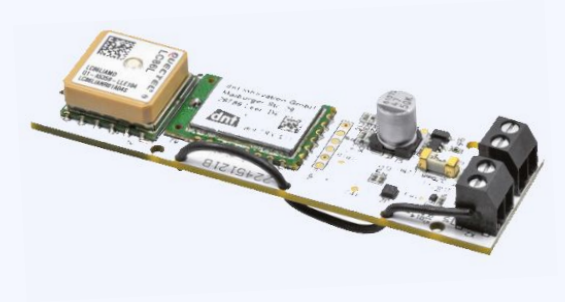
2D simulation (flat environment)



Data Rate (DR)	Spreading Factor (SF)	Channel Frequency	Uplink or Downlink	Bitrate (Bits/Sec)	Maximum User Payload Size (Bytes)
0	SF10	125 kHz	Uplink	980	11
1	SF9	125 kHz	Uplink	1,760	53
2	SF8	125 kHz	Uplink	3,125	125
3	SF7	125 kHz	Uplink	5,470	242
4	SF8	500 kHz	Uplink	12,500	242
5 – 7					
8	SF12	500 kHz	Downlink	980	53
9	SF11	500 kHz	Downlink	1,760	129
10	SF10	500 kHz	Downlink	3,125	242
11	SF9	500 kHz	Downlink	5,470	242
12	SF8	500 kHz	Downlink	12,500	242
13	SF8	500 kHz	Downlink	21,900	242

Das Setup

Portabel und maßgeschneidert



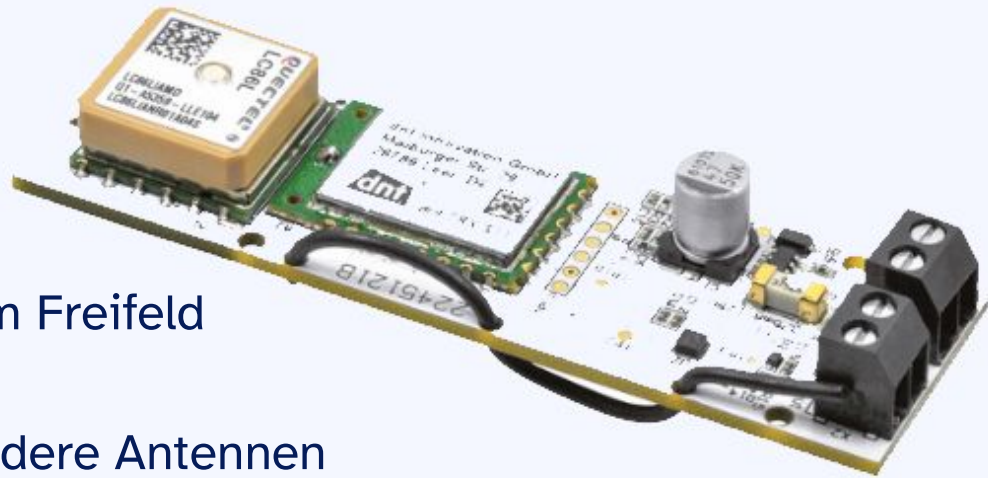
Wisgate Edge Pro Gateway

- Max. Sendeleistung: 27 dBm
- Min. Empfindlichkeit: -139 dBm
- 2 x 5dBi Glasfaser-Antennen



ELV GPS1 Tracker

- Funkreichweite: typ. bis zu 15 km Freifeld
- Funk-Sendeleistung: +10 dBm
- Modifiziert mit Anschluss für andere Antennen



Antennen und Batterien

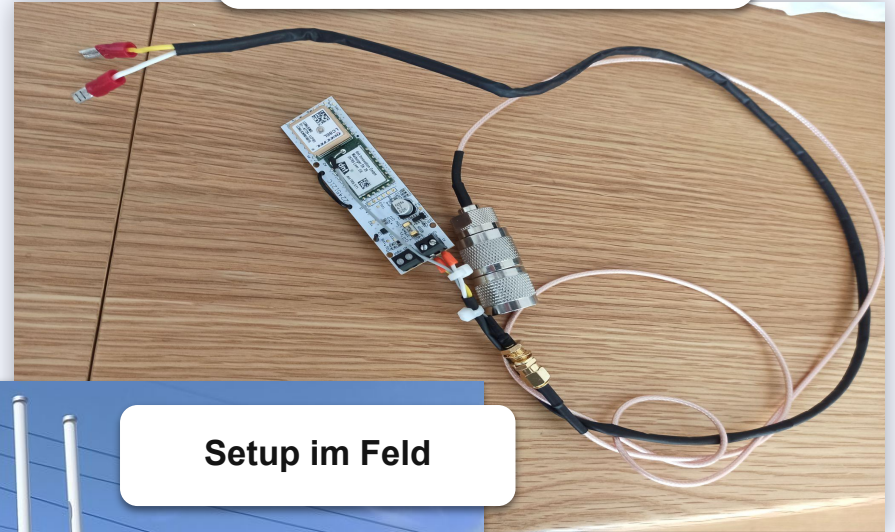
- 2x 20V Bohrmaschinen Akkus
- 1x 5 dBi Glasfaser Antenne
- 1x 2 dBi LTE Antenne



**Wisgate Edge Pro
LoRaWAN Gateway**



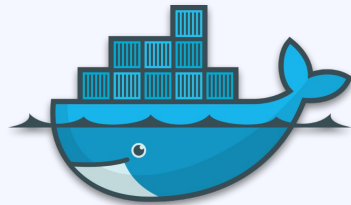
**Modifizierter GPS Tracker
ELV-LW-GPS1**



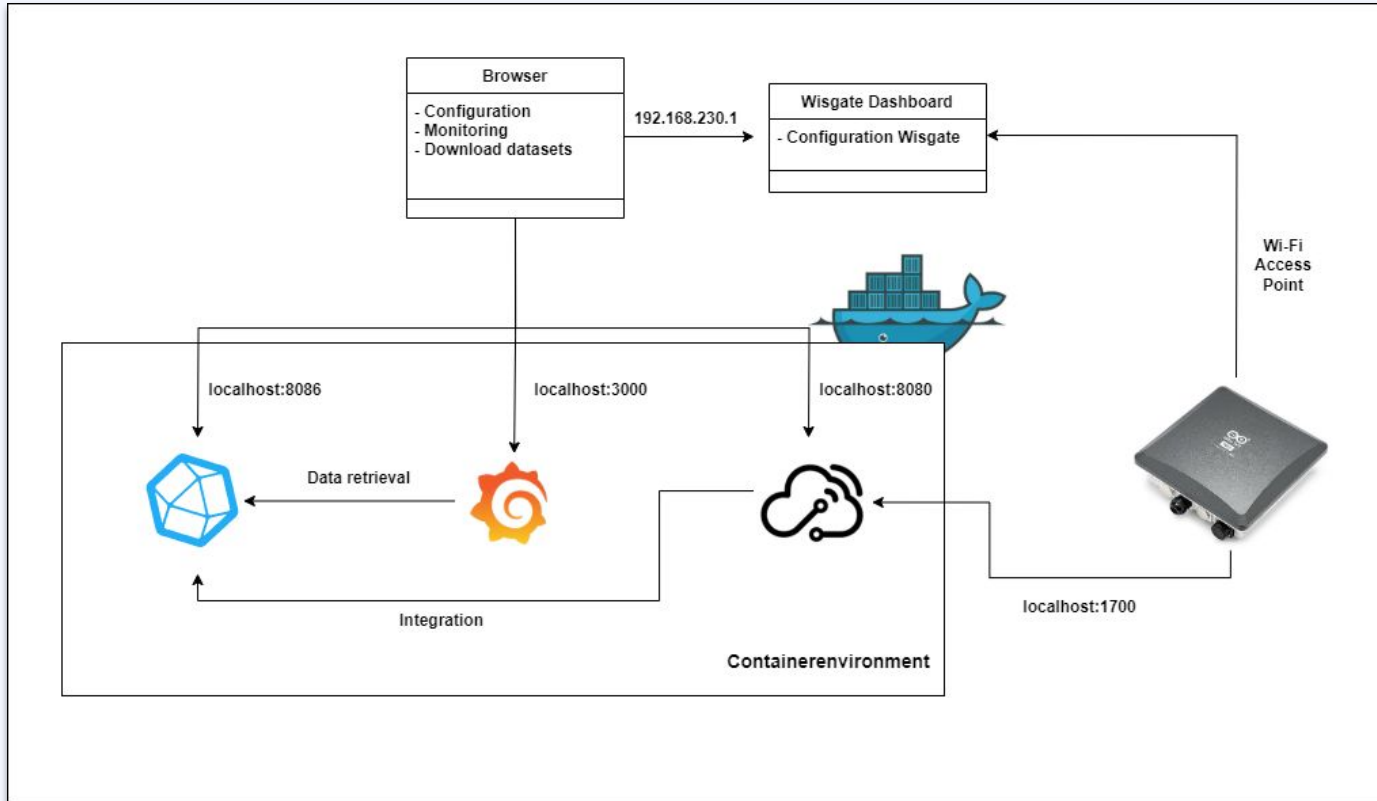
Setup im Feld



Software Stack



Software Architektur



- ChirpStack
- Network Server
- Dashboard
- Tenants
- Users
- API Keys
- Device Profile Templates
- Regions
- Tenant
- Dashboard
- Users
- API Keys
- Device Profiles
- Gateways
- Applications

Tenants / ChirpStack / Applications / Testing / Devices / GPS Tacker 1

GPS Tacker 1 device eui: 7066e1ffffe00680c

Dashboard Configuration OTAA keys Activation Queue Events LoRaWAN frames

2024-02-19 16:05:02	UnconfirmedDataUp	DevAddr: 01b2cad4	DevEUI: 7066e1ffffe00680c
2024-02-19 16:01:32	UnconfirmedDataUp	DevAddr: 01b2cad4	DevEUI: 7066e1ffffe00680c
2024-02-19 15:58:02	UnconfirmedDataUp	DevAddr: 01b2cad4	DevEUI: 7066e1ffffe00680c
2024-02-19 15:54:32	UnconfirmedDataUp	DevAddr: 01b2cad4	DevEUI: 7066e1ffffe00680c
2024-02-19 15:51:03	UnconfirmedDataUp	DevAddr: 01b2cad4	DevEUI: 7066e1ffffe00680c
2024-02-19 15:47:33	UnconfirmedDataUp	DevAddr: 01b2cad4	DevEUI: 7066e1ffffe00680c
2024-02-19 15:44:03	UnconfirmedDataUp	DevAddr: 01b2cad4	DevEUI: 7066e1ffffe00680c
2024-02-19 15:40:33	UnconfirmedDataUp	DevAddr: 01b2cad4	DevEUI: 7066e1ffffe00680c
2024-02-19 15:37:04	UnconfirmedDataUp	DevAddr: 01b2cad4	DevEUI: 7066e1ffffe00680c

```

1: 44
2: 75
3: 86
payload: {} 3 keys
  f_port: 10
  f_hdr: {} 4 keys
    devaddr: "01b2cad4"
    f_cnt: 31
    f_ctrl: {} 6 keys
      ack: false
      adr: false
      adr_ack_req: false
      class_b: false
      f_opts_len: 0
      f_pending: false
      f_opts: [] 0 items
    frm_payload: "03034aca"
rx_info: [] 1 item
  0: {} 11 keys
    channel: 7
    context: "XP1lyA=="
    crcStatus: "CRC_OK"
    gatewayId: "ac1f09ffffe0ba6e8"
    location: {} 3 keys
      altitude: 530
      latitude: 48.196
      longitude: 11.46426
    metadata: {} 2 keys
      region_common_name: "EU868"
      region_config_id: "eu868"
    nsTime: "2024-02-19T15:01:32.155380100+00:00"
    rfChain: 1
    rssi: -45
    snr: 9
    uplinkId: 40854
tx_info: {} 2 keys
  frequency: 867300000
  modulation: {} 1 key
  lora: {} 3 keys
    bandwidth: 125000
    codeRate: "CR_4_5"
    spreadingFactor: 12
  
```

LoRa Calculator

Device	RF	Modem	Packet	Protocol
Device i <input type="text" value="LR1110"/>	Tx Power i <input type="text" value="14"/> dBm	Modulation i <input type="text" value="LoRa"/>	Preamble Length i <input type="text" value="8"/> Symbols	TX Period i <input type="text" value="400"/> ms
RF Path <input type="text" value="Shared RFIO"/>	Receiver Mode i <input type="text" value="High Sensitivity"/>	Spreading Factor i <input type="text" value="10"/>	Header i <input type="text" value="Enabled"/>	RX Duration i <input type="text" value="400"/> ms
Regulator Mode <input type="text" value="LDO"/>	Power Amplifier i <input type="text" value="HP"/>	Bandwidth i <input type="text" value="125"/> kHz	Payload Length i <input type="text" value="7"/> Bytes	RX Period i <input type="text" value="400"/> ms
	Ramp Time i <input type="text" value="16"/> us	Coding Rate <input type="text" value="4/5"/>	CRC i <input type="text" value="OFF"/>	Sleep Consumption i <input type="text" value="5"/> μA
	Frequency <input type="text" value="868500000"/> Hz	Low Data Rate Optimizer <input type="text" value="ON"/>		

LoRa Calculator

Results

Summary ▶

Timing Results

Time on Air: 247.80 ms

Symbol Time: 8.19 ms

Effective Data Rate: 976.56 bps

Total Symbol: 30.25 Symbols

Preamble Duration: 65.54 ms

RF Performance

Radio Consumption: 5.01 uAh

Link Budget: 148.2 dB

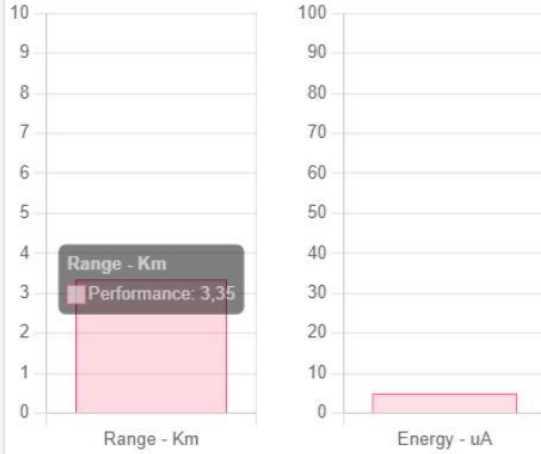
Max Crystal Tolerance: 36.0 ppm

Max Crystal Tolerance: 31250.0 Hz

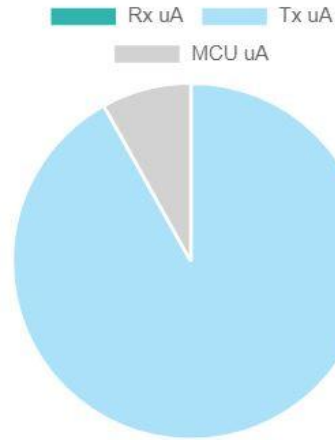
Receiver Sensitivity: -134.2 dBm

LoRa Calculator

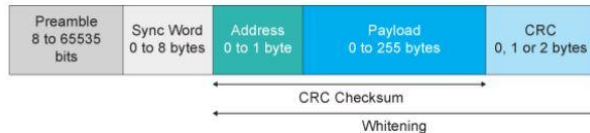
Performance



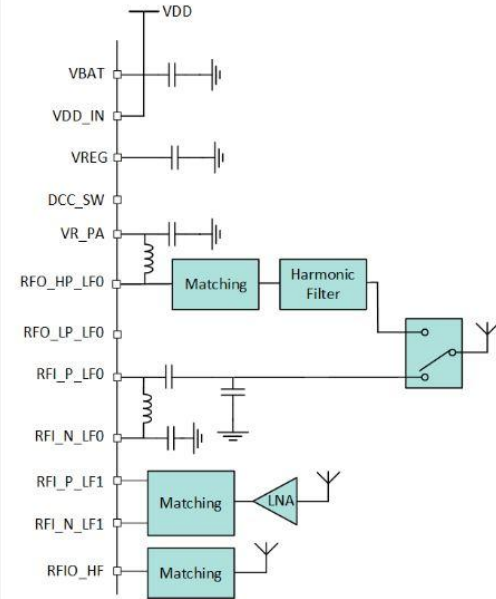
Consumption



Packet Format



RFIO Schematic



Test 1: Urbanes Gebiet

- Ort: Gebiet Pasing-München
- mit 5 dBi Antenne am GPS-Tracker
- RSSI Anfangswert: -35 dBm
- Spreizfaktor 10
- Gateway in 10 m Höhe
- maximale Reichweite: 0,91 km

Test 1: Urbanes Gebiet



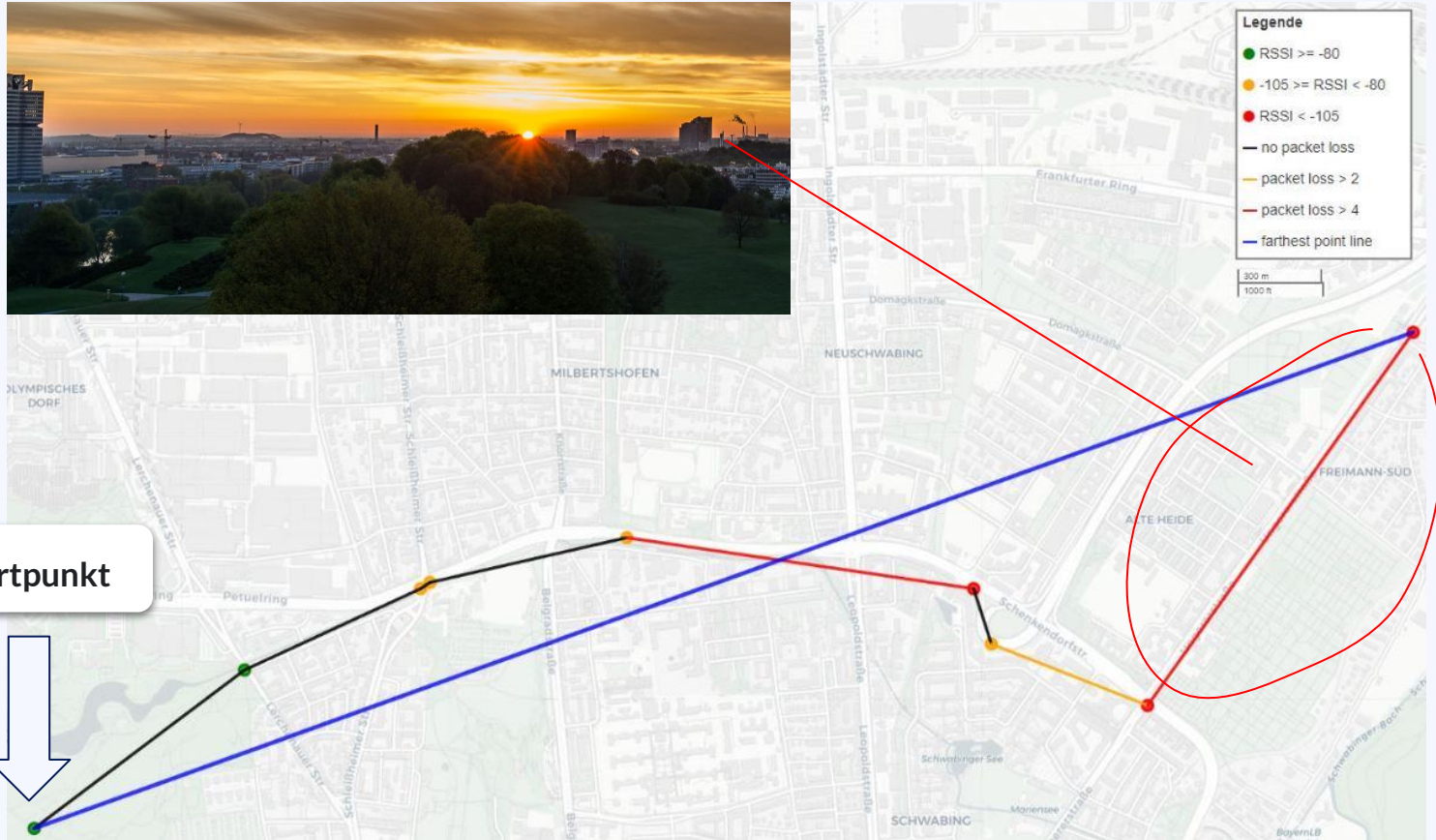
Startpunkt



Test 2.1: Urbanes Gebiet mit Gateway Höhe 60 Meter

- Ort: auf dem Olympiaberg
- Reichweite: fast 5 km
- Spreizfaktor 10
- anfänglicher RSSI-Wert bei -43 dBm
(Olympiapark hat mögliche störende Frequenzen)

Test 2.1: Urbanes Gebiet mit Gateway Höhe 60 Meter



Test 2.2: Urbanes Gebiet mit Gateway Höhe 1 Meter

- Ort: neben dem Olympiaberg
- Spreizfaktor 10
- Reichweite: 1,75 km
 - übertrifft Test 1, aber deutlich geringere Reichweite als Test 2.1
- anfänglicher RSSI-Wert bei -44 dBm

Test 2.2: Urbanes Gebiet mit Gateway Höhe 1 Meter



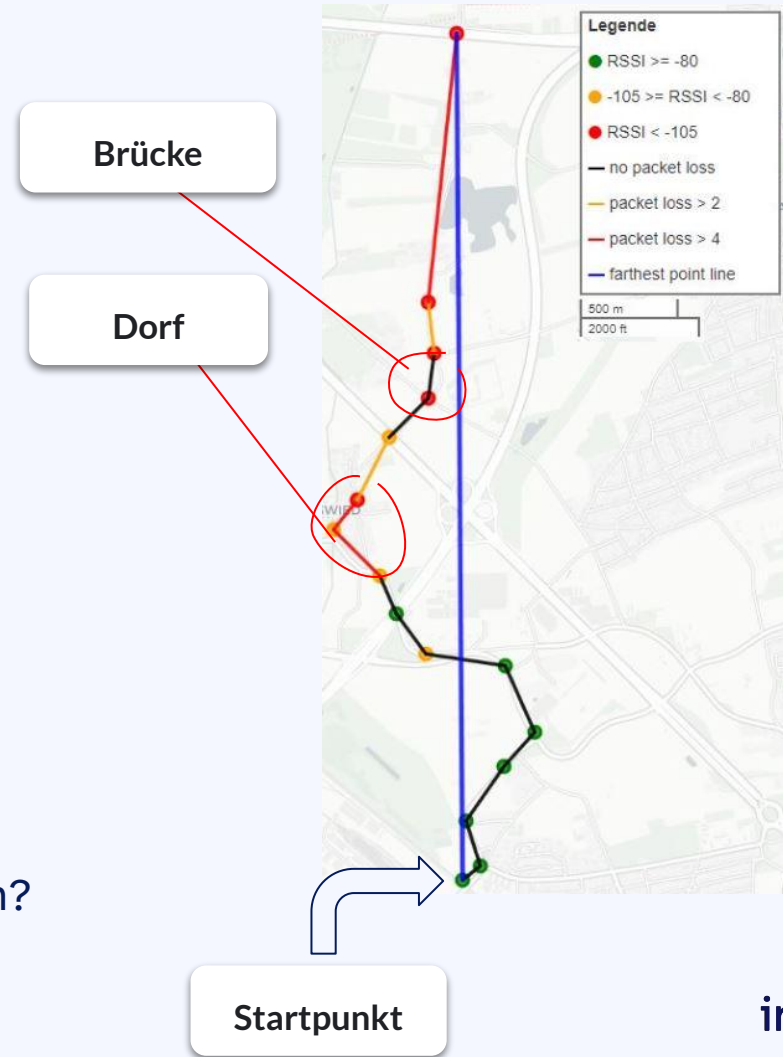
Startpunkt

Vergleich Test 1, 2.1 und 2.2

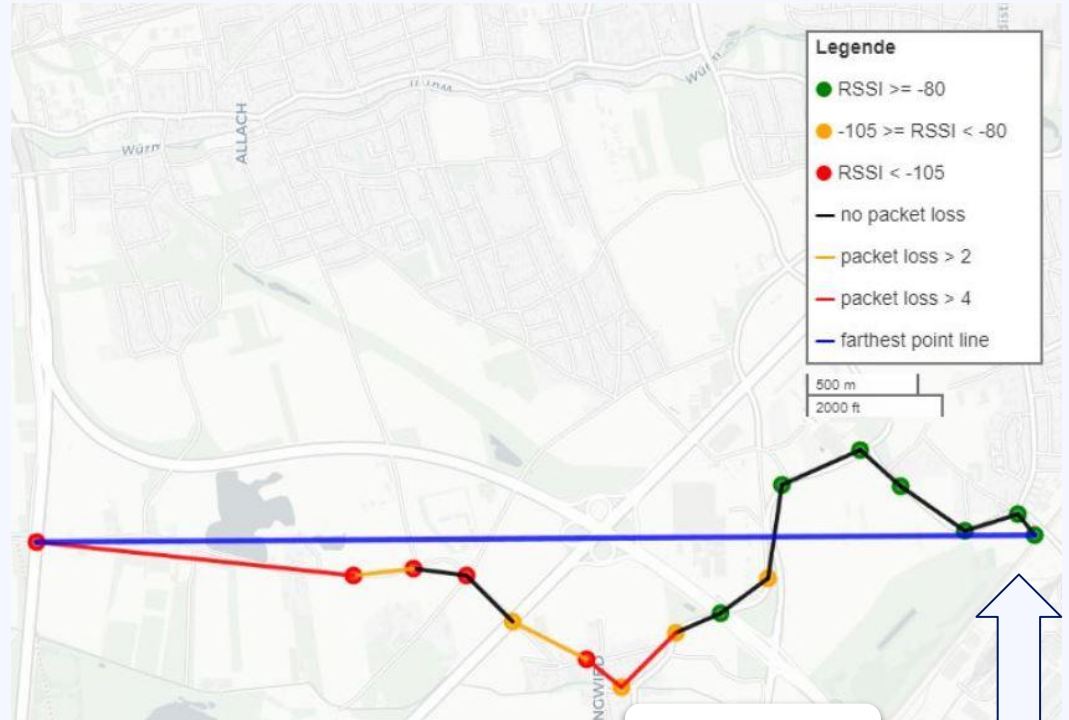
- insgesamt niedrigere Reichweite als erwartet
- klare Sichtlinie und Höhe des Gateways sind wichtige Faktoren
- mögliche Interferenzen in urbanen Gebieten
 - elektromagnetische Felder
 - störende Signale

Test 3: Ländliches Gebiet mit 2 Metern Gateway Höhe

- Ort: Langwied-München
- maximale Reichweite: 4,49 km
- Positionierung unter einer Hochspannungsleitung
- Spreizfaktor 10
- RSSI-Werte
 - zwischen -44 dBm und -47 dBm
 - elektromagnetische Interferenzen?



Test 3: Ländliche Gebiete mit 2 Meter Gateway Höhe

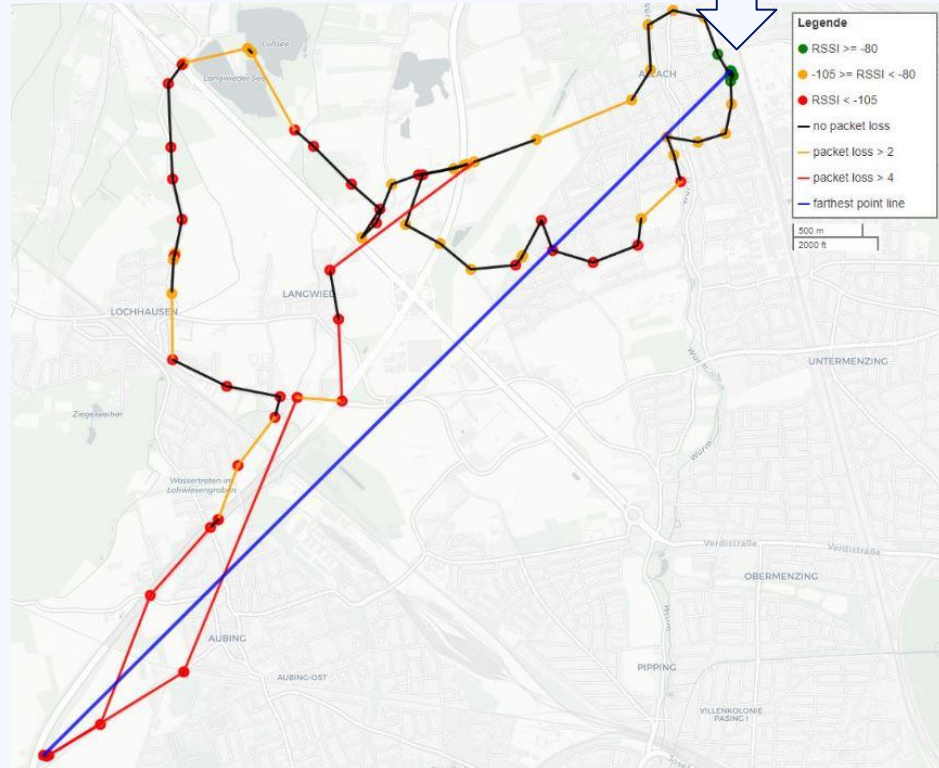


Startpunkt

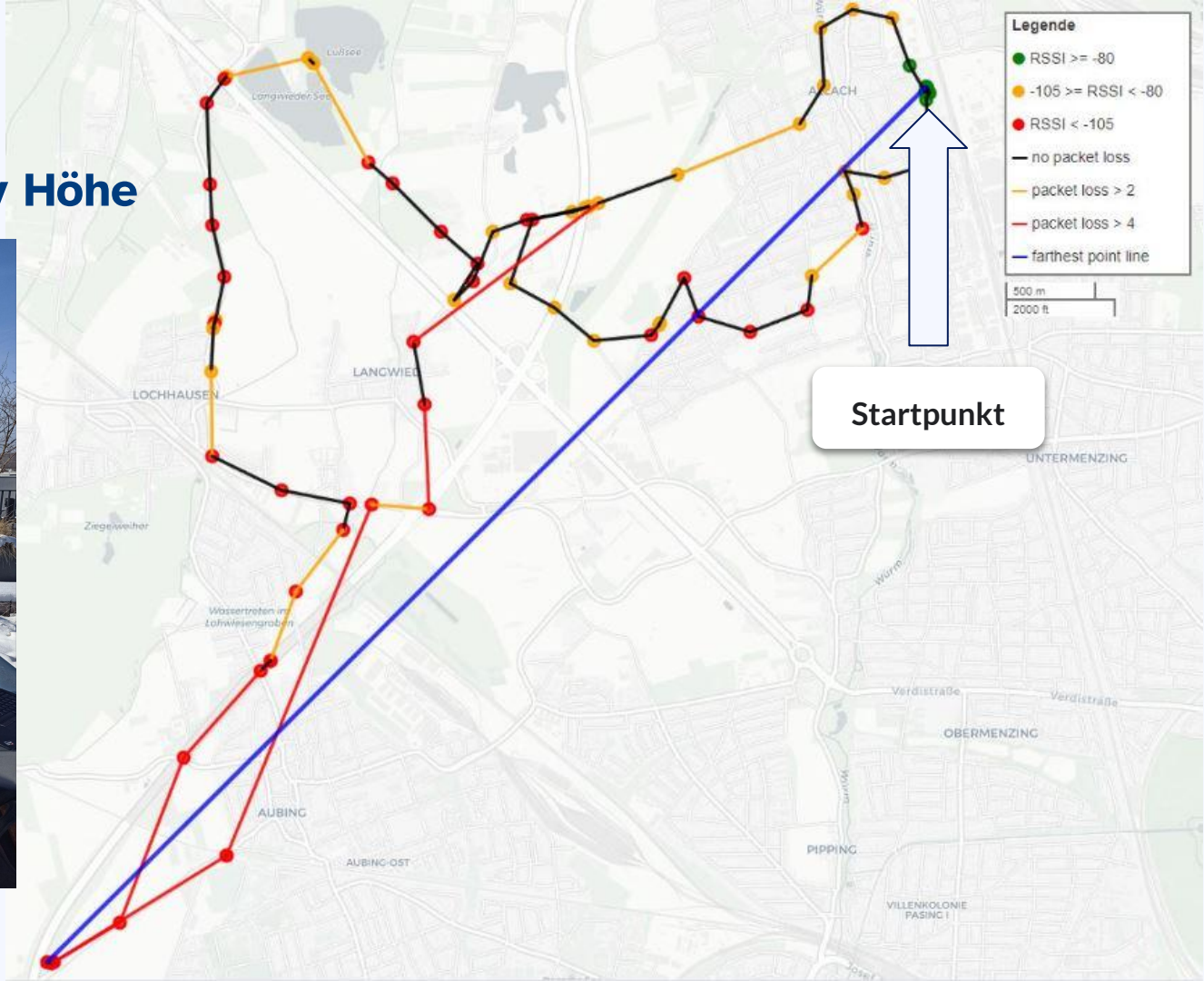


Test 4.1: Dorf mit 15 Metern Gateway Höhe

- Ort: Allach-München
- Spreizfaktor 10
- maximale Reichweite:
7,16 km

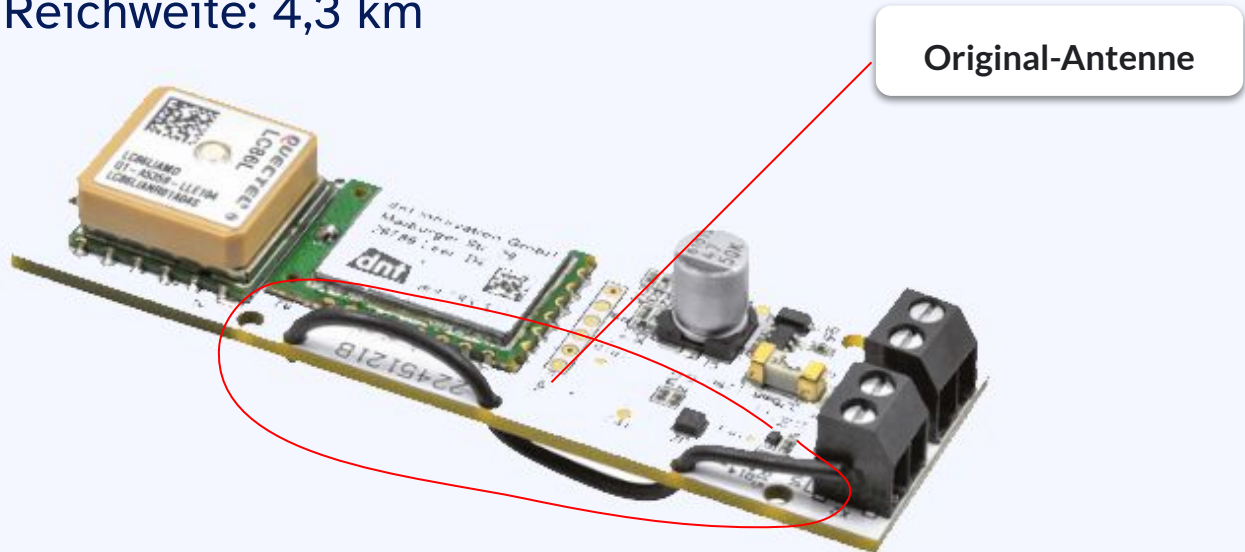


Test 4.1: Dorf mit 15 Metern Gateway Höhe

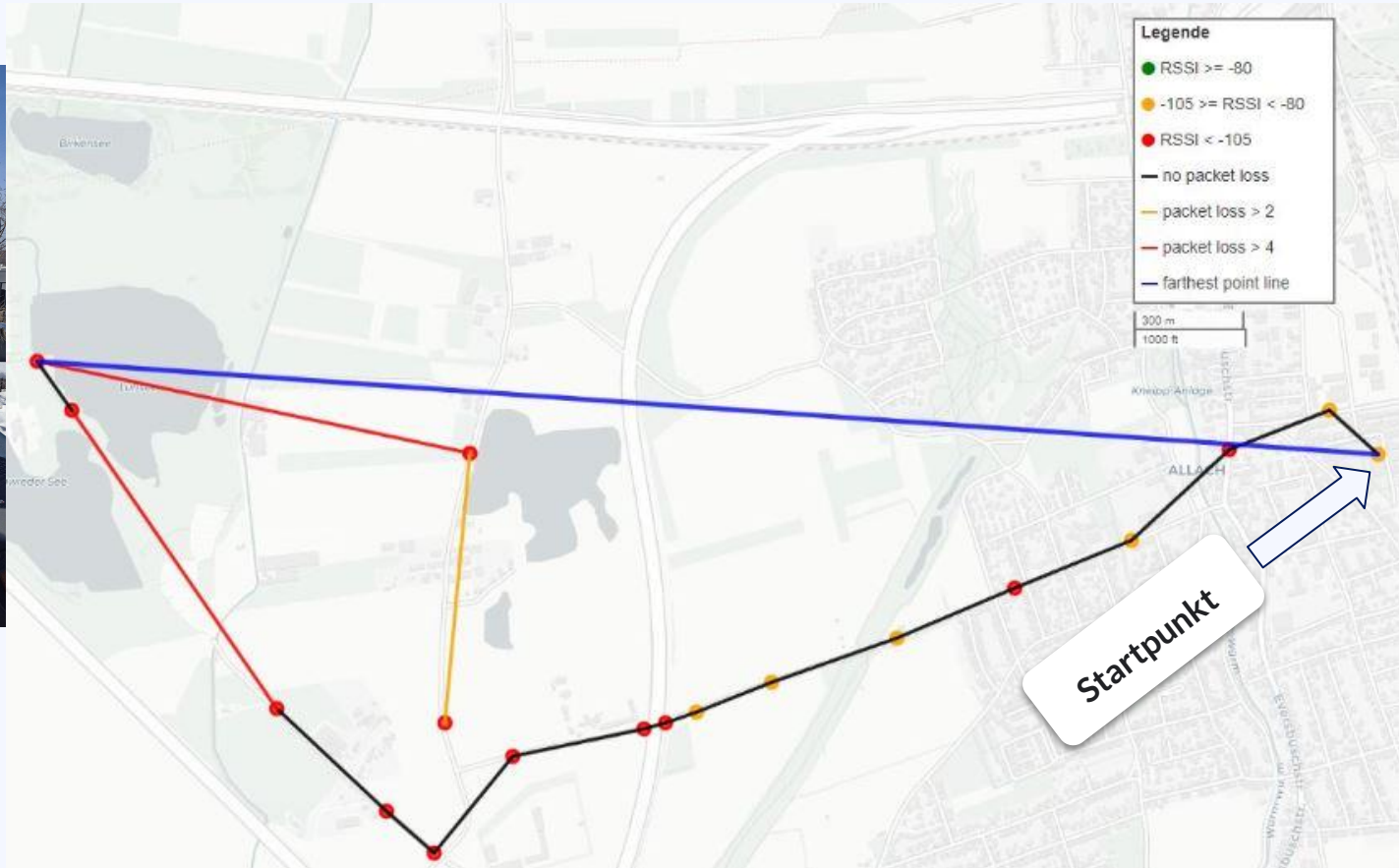


Test 4.2: Dorf mit 15 Metern Gateway Höhe - originale Antenne

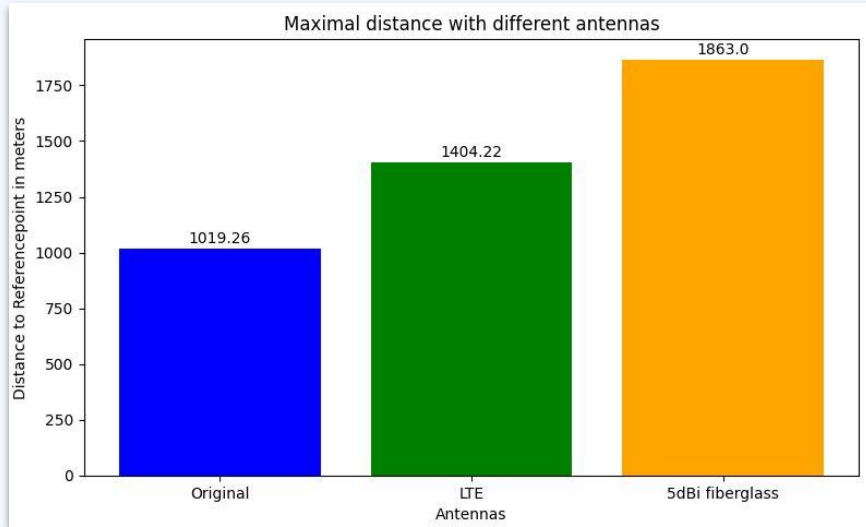
- Ort: Allach-München
- originale Antenne wieder angelötet
- maximale Reichweite: 4,3 km
- SF 10



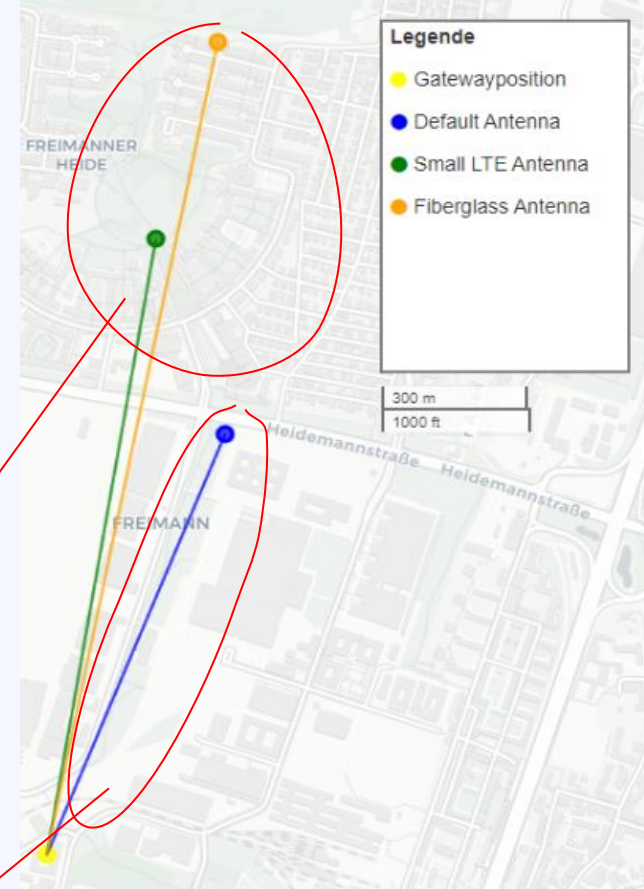
Test 4.2: Dorf mit 15 Metern Gateway Höhe - originale Antenne



Test 5: Unterschiedliche Antennen



Hoher dBi-Gewinn und Qualität der Antenne erhöhen die maximale Reichweite!



Zusammenfassung und Ausblick

Feldtests Retrospektive

- Reichweite in urbanen Gebieten gering
- Zuverlässigkeit der Verbindung in urbanen Gebieten nicht gegeben
- maximale Reichweite nur unter hohem Paketverlust erreichbar
- Tracking-Anwendungen in urbanen Gebieten suboptimal

Zusammenfassung und Ausblick

LoRaWAN Stärken

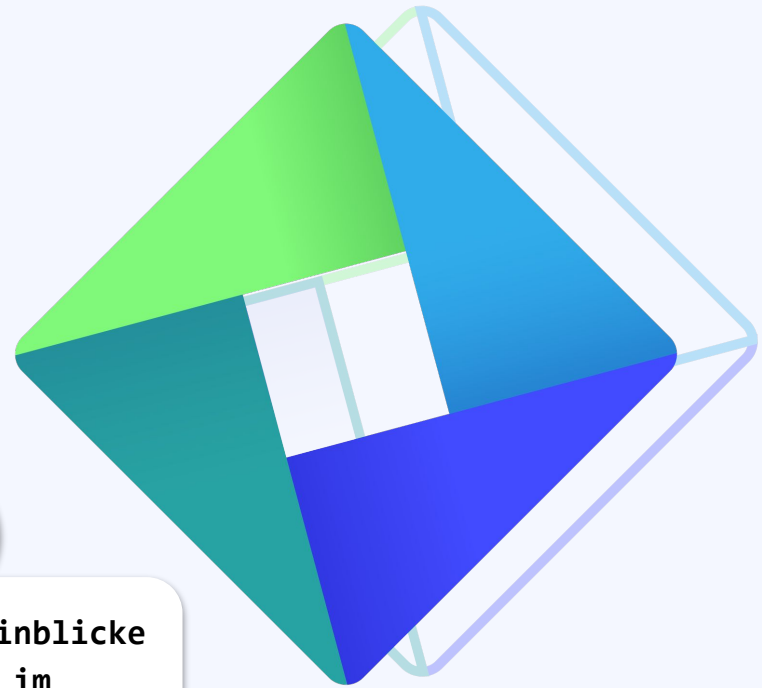
- ideal in ländlichen und dörflichen Gebieten
- niedriger Energieverbrauch
- leichte Inbetriebnahme (ChirpStack oder The Things Network (TTN))
- Kosteneffizienz für bestimmte Anwendungen

Zusammenfassung und Ausblick

LoRaWAN Optimierungen

- optimale Positionierung von Gateways: Höhe mit klarer Sichtlinie
- Reduzierung von Interferenzen
- Reichweitenerhöhung durch
 - Sichtlinie
 - Gateway-Höhe
 - Antennen-Upgrade (begrenzt)
- Auswahl eines passenden SF-Wertes

Vielen Dank!



Noch mehr Einblicke
gibt's hier im
Blogartikel!



Paul Ziegemann
paul.ziegemann@inovex.de



Anna-Lena Marx
anna-lena.marx@inovex.de