

Sferics Detektor Sferics-RX

Einfacher Empfänger
für die natürliche atmosphärische Impulsstrahlung (Sferics)
Technische Beschreibung

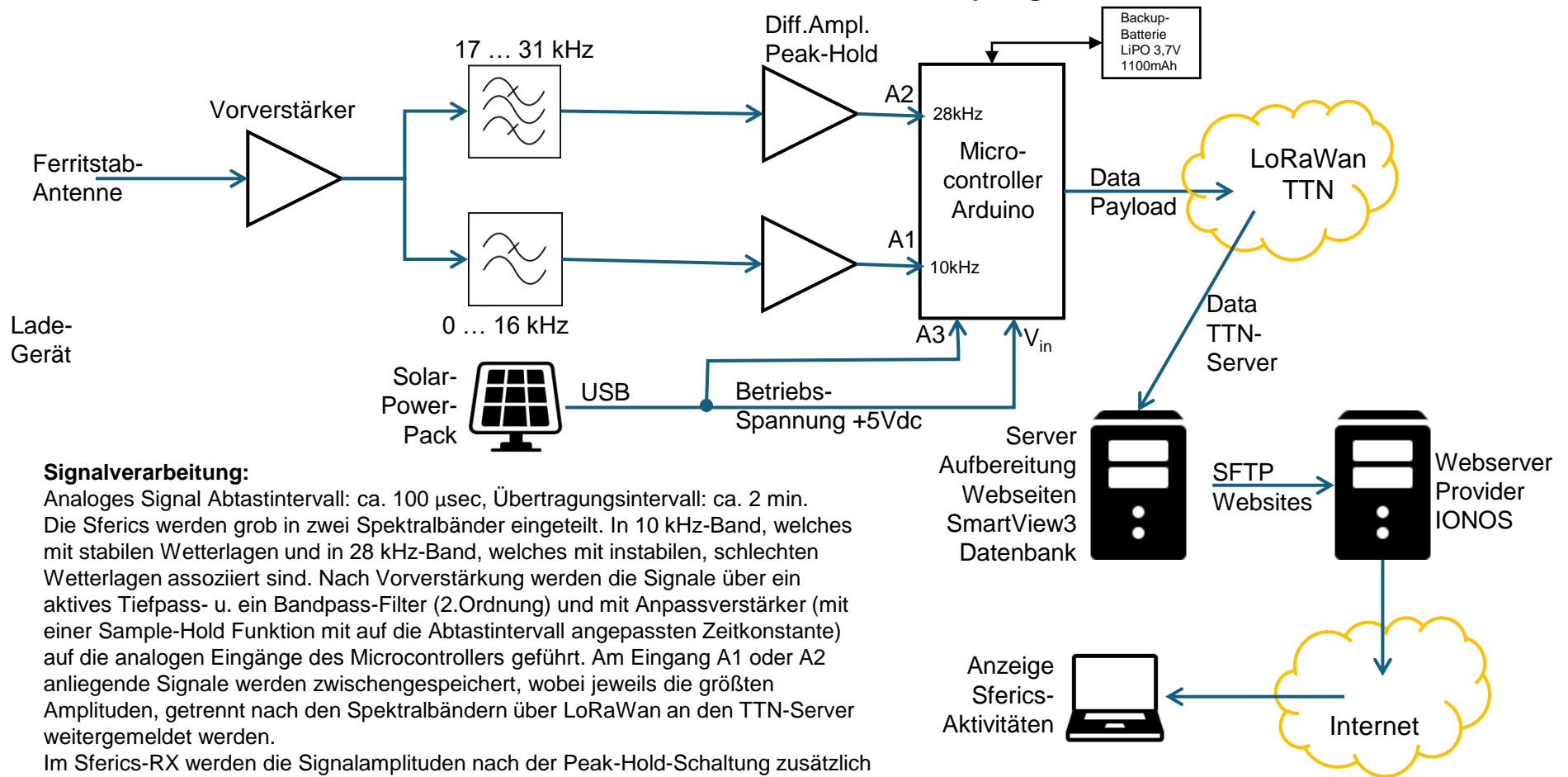


Dipl.Ing.Univ. Karl E. Schedler
Alpgastr. 22
87561 Oberstdorf
info@ks-consulting.de
Tel.: +49 8322 8099176
Mobil: +49 171 2700939

v. 21.12.2025 zuletzt geändert: 04.03.2026

Sferics Detektor

Sferics-RX: Blockschaltbild Remote Sferics Empfänger / LoRaWan



Die Stromversorgung des Empfängers wird über eine kompaktes Solar-Power-Pack mit integriertem Akku über USB Kabel realisiert. Der Ladezustand bzw. die Betriebsspannung wird über A3 am Controller überwacht und mit übermittelt. Die Daten werden vom eigenen (SmartView3)Server beim TTN-Server abgefragt, in eine DB gespeichert und für die Darstellung in Webseiten beim Webserver des Providers aktualisiert. Darstellung als Diagramm nach Zeit und entweder nach Magnetflussdichte. Die Daten können dann öffentlich eingesehen werden - ggf. zusammen mit Wetterdaten der Wetterstation. Der Detektor wird an einem geeigneten Platz in Freien in einem wetterfesten Gehäuse aufgebaut.

Sferics Detektor

Solar-Stromversorgung / Power-Pack und Backup-Batterie

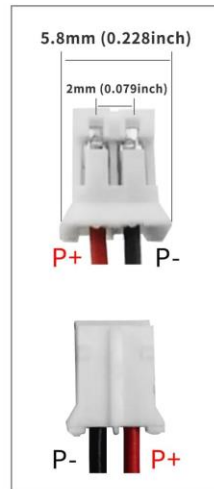


Marke	XRDZYXGS
Material	Monokristallines Silizium, Hartglas, ABS-Kunststoff
Produktabmessungen	16,5 x 2,5 x 16,5 cm
Outdoor-Schutzart	IP65
Schnittstelle	USB-Stromversorgungs-Kabel USB-A auf Mini-C
Power-Pack Akku	6 Ah
Ausgangsspannung/Strom	5Vdc / 1A
Montage	Mastmontage mit Kabelbinder

ATTENTION!

Check the size, orientation and polarity of the connector before purchase.

W	34.5mm
H	6.3mm
L	51.0mm



Connector: JST-PRH-02

Anschluss über
JST 2,54 mm
Direkt an MKR
WAN 1310

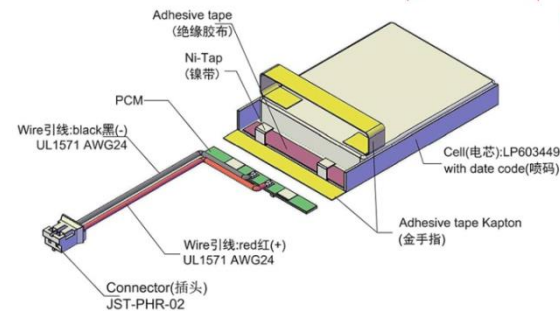
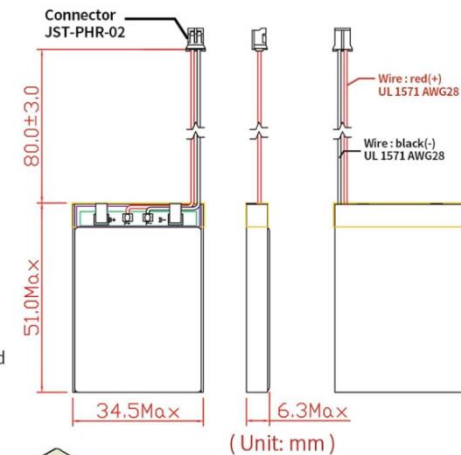
**Connector
JST-PRH-02
ggf. Polarität
vertauschen!**

(Raster-Clip
hochbiegen, Stift
herausziehen und
Seite tauschen)

LP603449

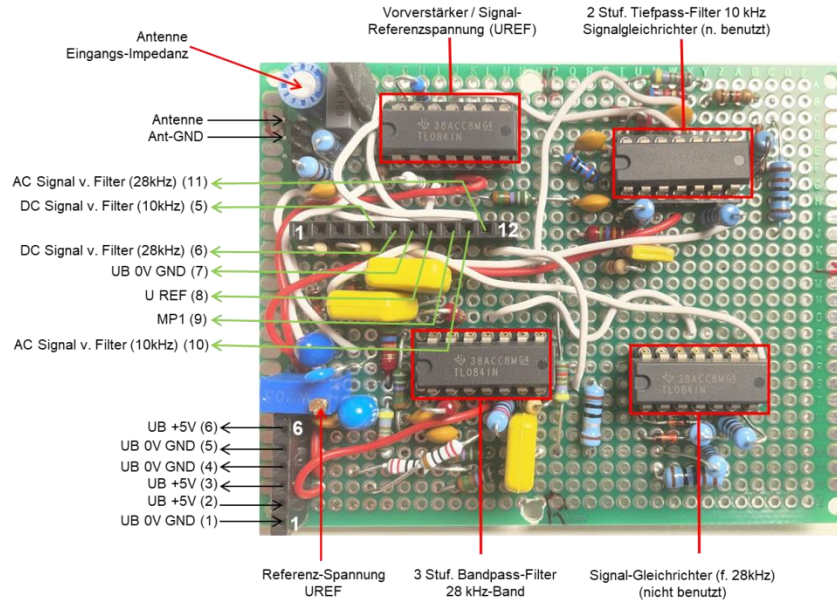
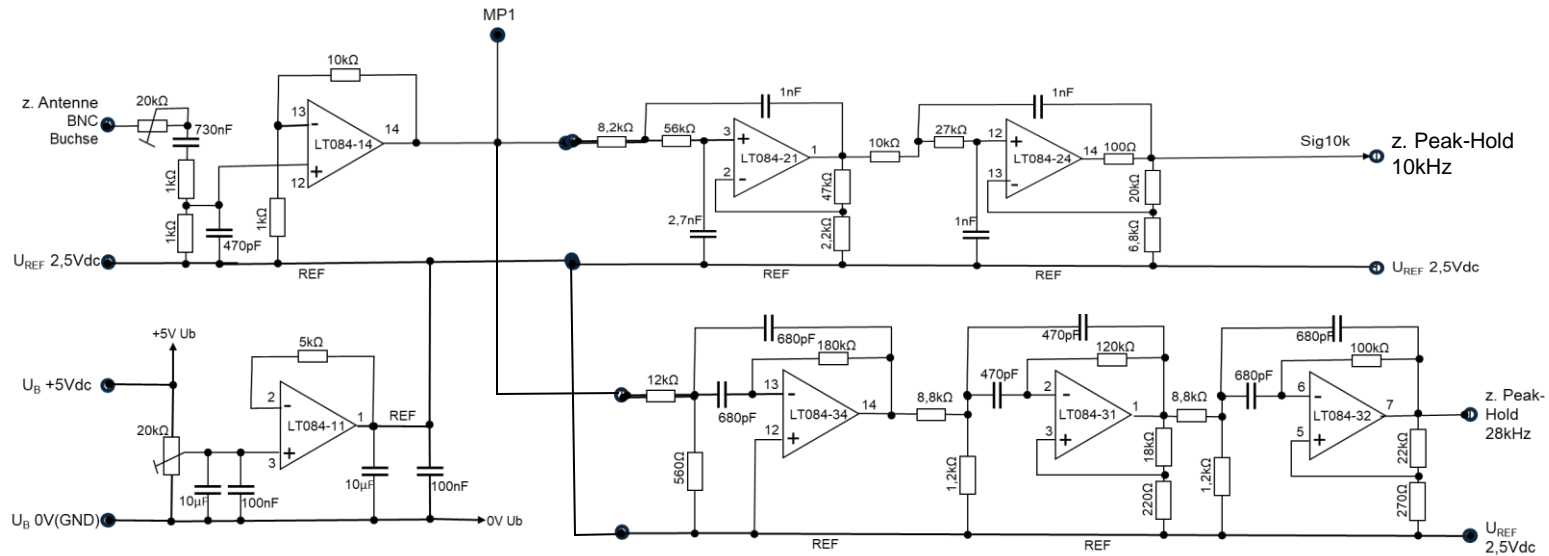
- Typical Capacity: 1100 mAh
- Nominal Voltage: 3.7 V
- Weight: 22g
- BMS Overcharge Voltage: 4.28 ± 0.05 V
- BMS Overdischarge Voltage: 2.4 ± 0.1 V
- Max Charge Current: 1100 mA
- Max Loading Current (peak value): 2A
- Max Loading Current (constant): 1A
- Charge Temperature: 0 ~ 45 °C
- Discharge Temperature: -20 ~ +60 °C
- Battery Protection Circuit (PCM) included

UN38.3



Sferics Detektor

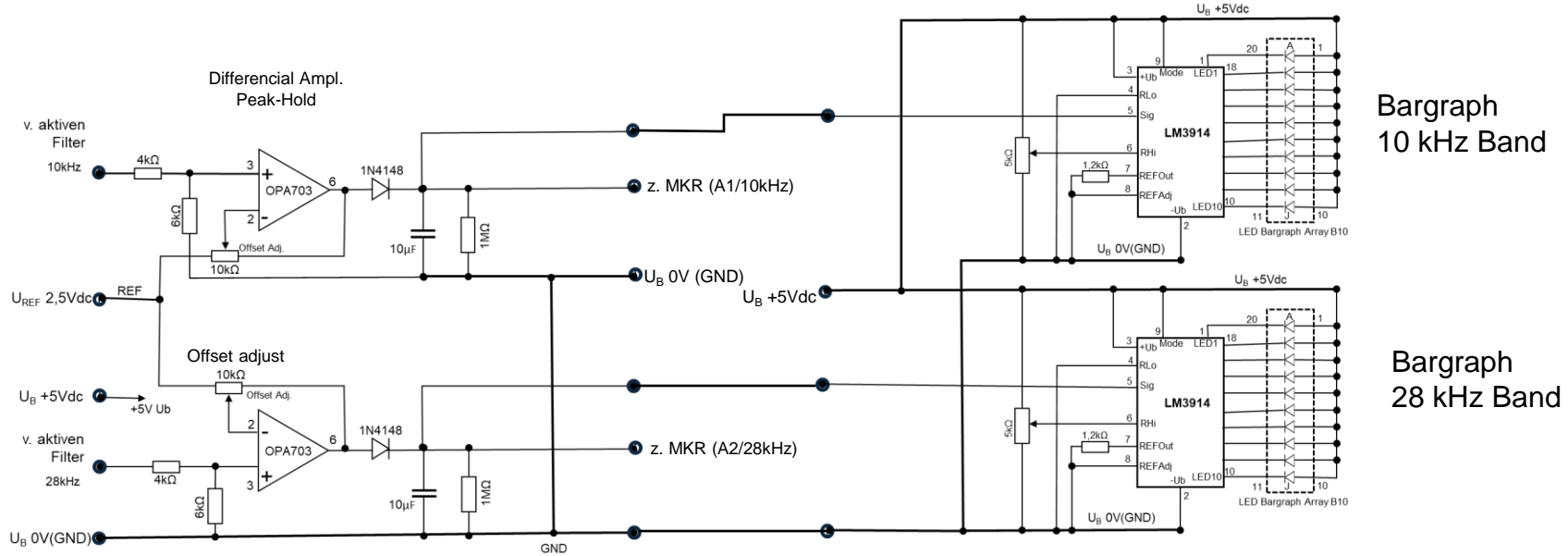
Schaltung: Platine 1



Ursprünglich sind noch 2-stufige Signal-Gleichrichter verbaut, die aber nicht mehr benutzt werden. Den gleichen gleichrichtenden Effekt haben auch die Differenz-Verstärker mit Peak-Hold-Funktion auf Platine 2.

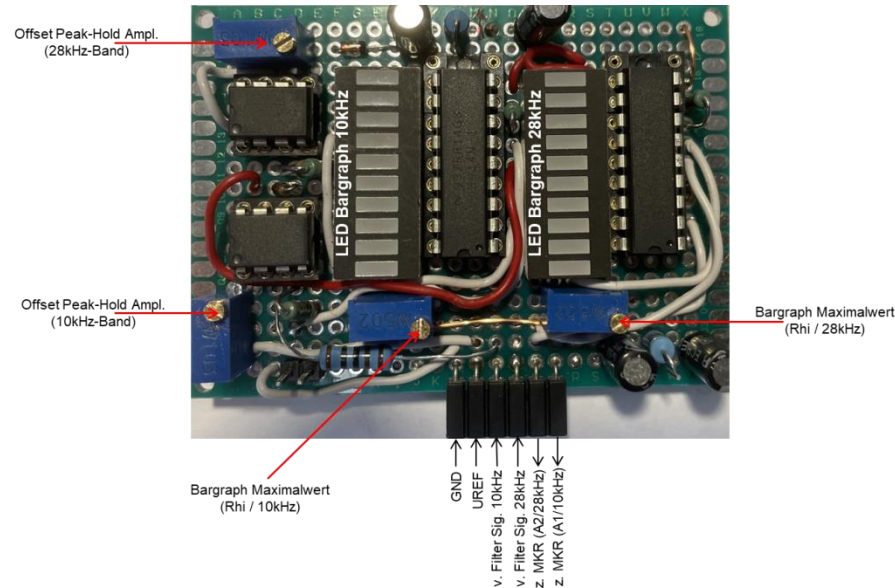
Sferics Detektor

Schaltung: Platine 2



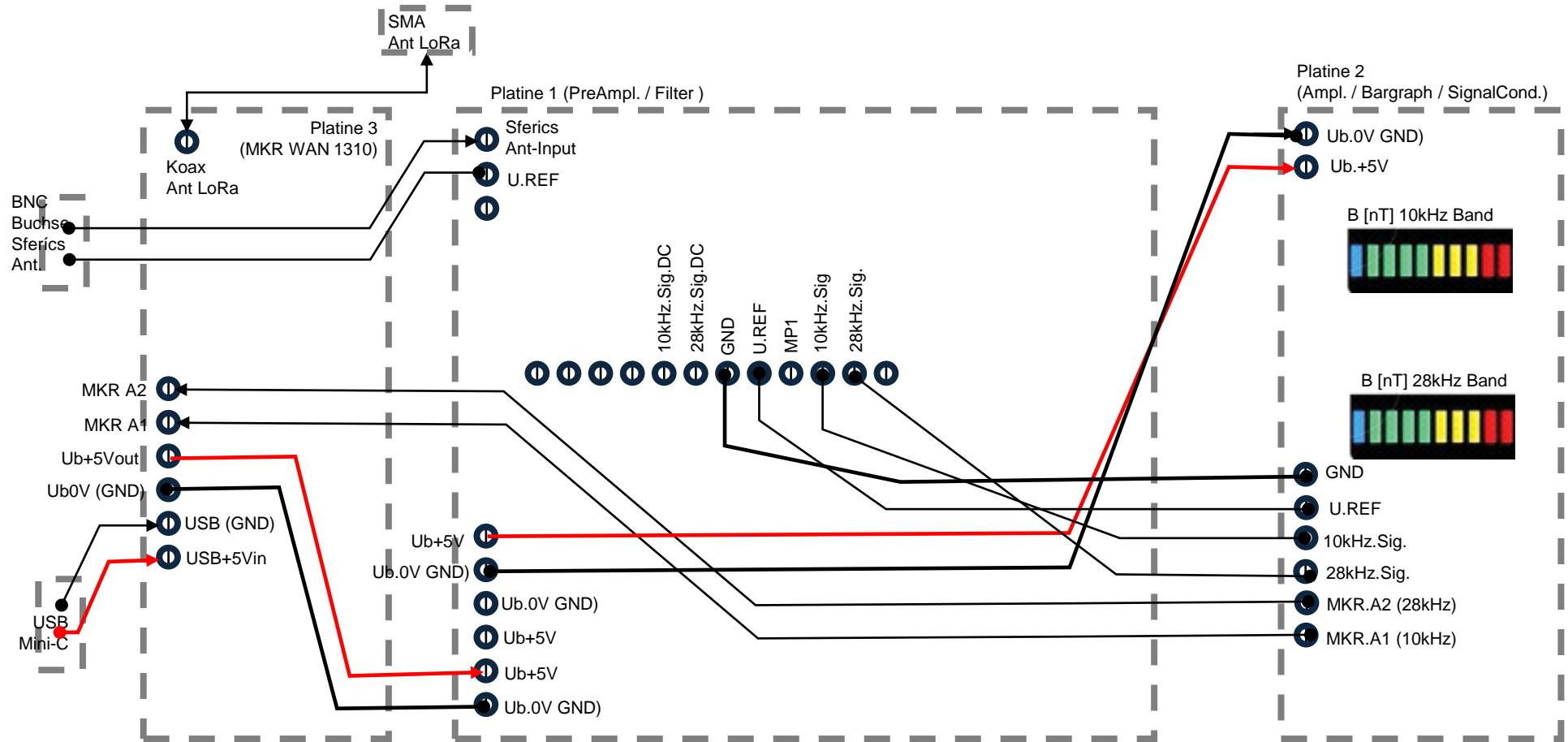
Bargraph
10 kHz Band

Bargraph
28 kHz Band



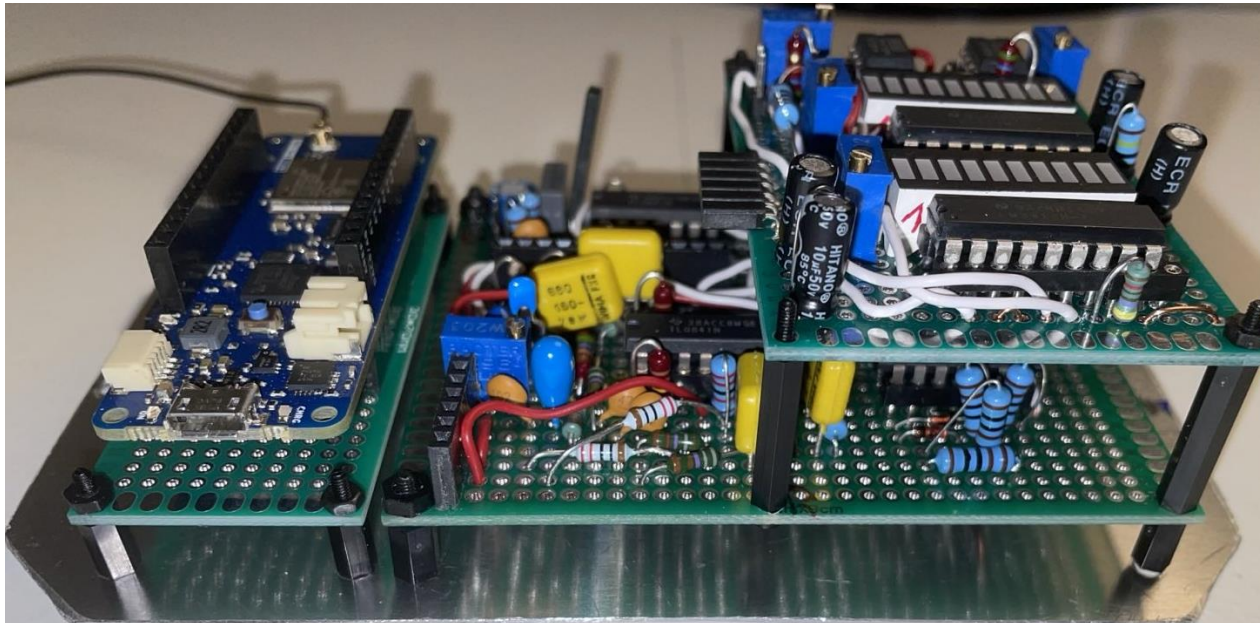
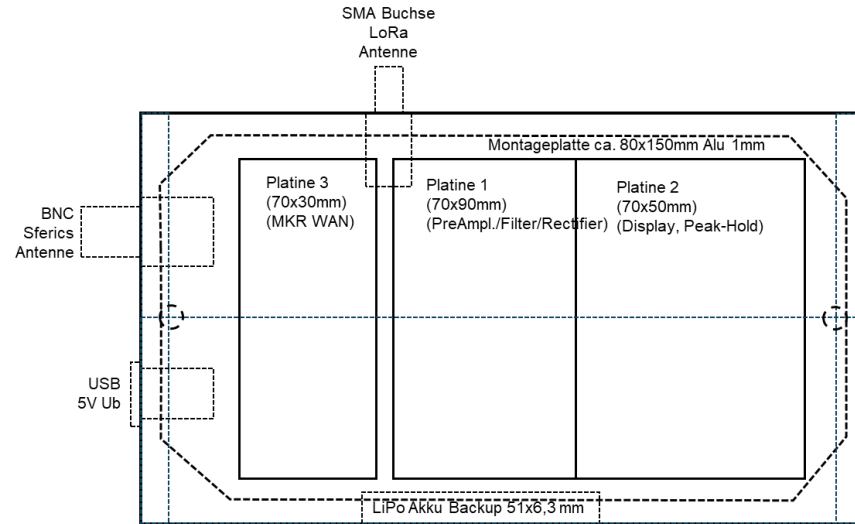
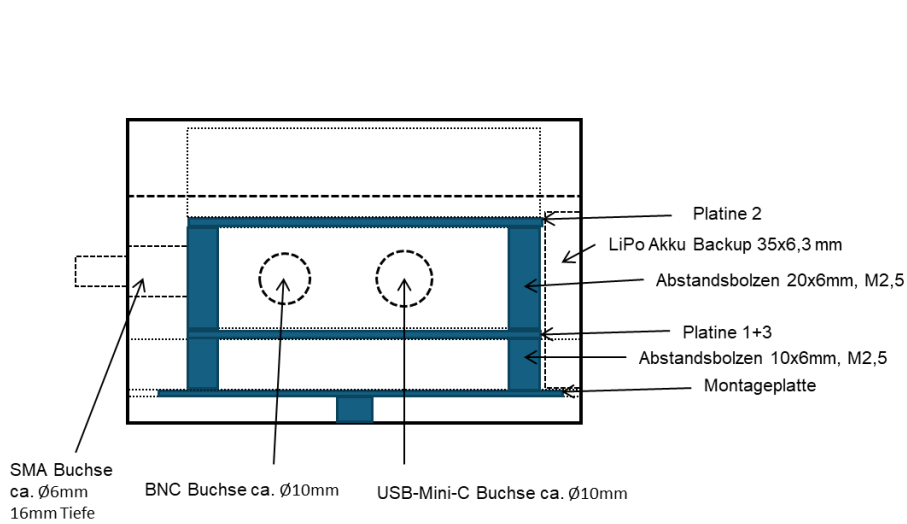
Sferics Detector

Verschaltung der Boards und externen Anschlüsse



Sferics Detector

Gehäuseaufbau und Leiterplatten-Montage



Sferics Detector

Grundlagen / LoRa Arduino MKR WAN 1310 Specifications

Features

SAMD21G18A Processor

- Arm® Cortex®-M0+ at up to 48 MHz
- 256 KB Flash
- 32 KB SRAM
- Power On Reset POR and Brown Out Detection (BOD)
- Peripherals
 - 12 channel DMA
 - 12 channel event system
 - 5x 16 bit Timer/Counter
 - 3x 24 bit timer/counter with extended functions
 - 32 bit RTC
 - Watchdog Timer
 - CRC-32 generator
 - Full speed Host/Device USB with 8 end points
 - 6x SERCOM (USART, I2C, SPI, LIN)
 - Two channel I2S
 - 12 bit 350ksps ADC (up to 16 bit with oversampling)
 - 10 bit 350ksps DAC
 - External Interrupt Controller (up to 16 lines)

Murata CMWX1ZZABZ LORA Module

- STMicro STM32L0 series Arm® Cortex®-M0+ 32 bit MCU
- 192 Kbytes Flash
- +20dBm RF TX Output Power
- Semtech SX1276 Radio

W25Q16 SPI Flash memory

- 16Mbit SPI Flash
- 4mA active current, <1µA Power-down (typ.)
- More than 100,000 erase/program cycles
- More than 20-year data retention

ATECC508 Crypto Chip

- Cryptographic co-processor with secure hardware based key storage
- Protected storage for up to 16 keys, certificates or data
- ECDH: FIPS SP800-56A Elliptic Curve Diffie-Hellman
- ECDSA: FIPS186-3 Elliptic Curve Digital Signature Algorithm
- NIST standard P256 elliptic curve support
- SHA-256 & HMAC hash including off-chip context save/restore

BQ24125L I2C Controlled USB/Adapter Charger

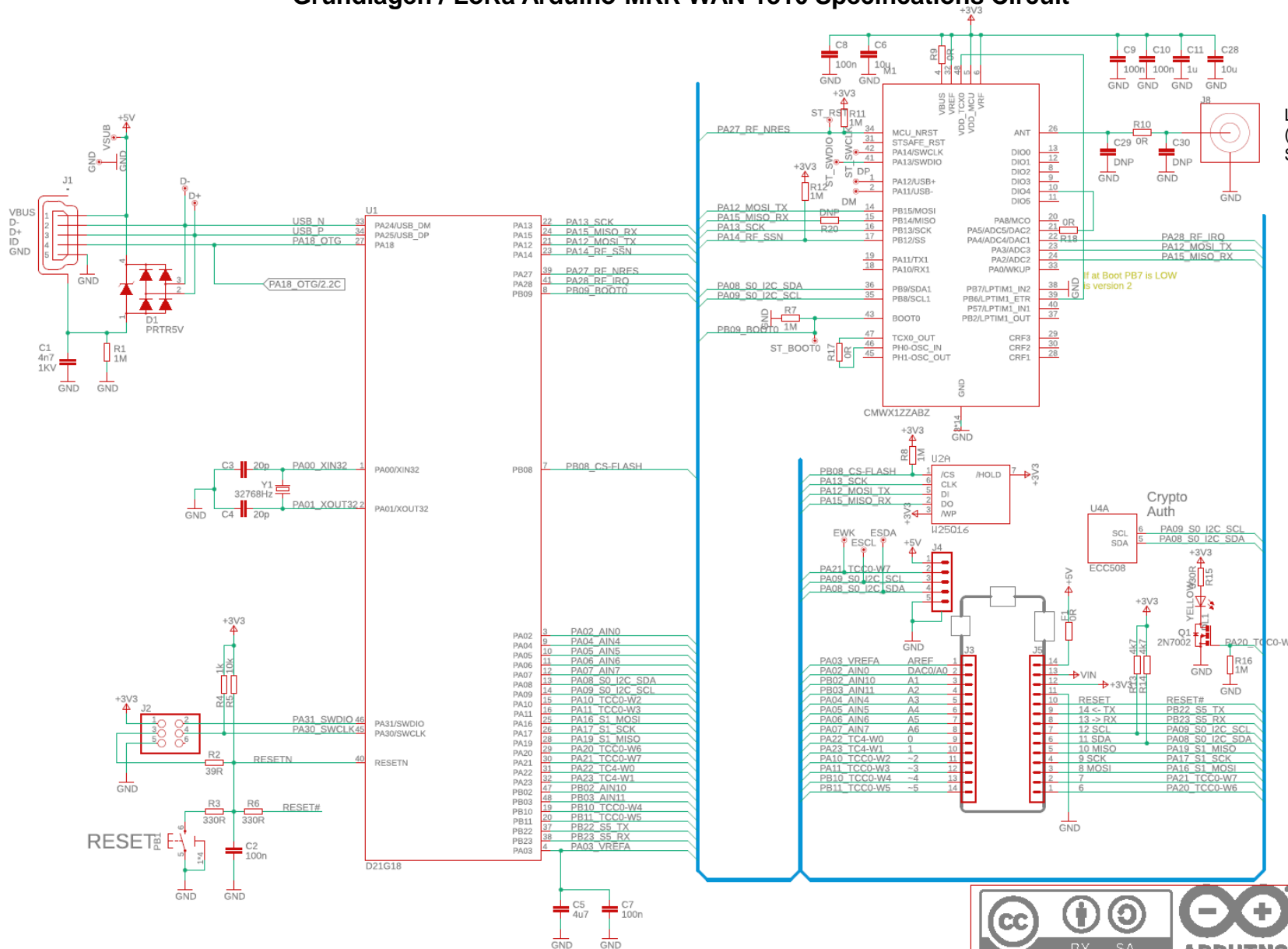
- 92% Charge Efficiency at 2 A, 90% at 4 A
- Autonomous Battery Charging
- 2.5-A Fast Charging



- | | |
|-----------------------------|---|
| 1 Arduino IDE (Desktop): | https://www.arduino.cc/en/software |
| 2 Arduino IDE (Cloud): | https://app.arduino.cc |
| 3 Cloud IDE Getting Started | https://docs.arduino.cc/arduino-cloud/guides/editor/ |
| 4 Forum | http://forum.arduino.cc/ |
| 5 SAMD21G18 | http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/40001884a.pdf |
| 6 CMWX1ZZABZ | https://wireless.murata.com/datasheet?/RFM/data/type_abz.pdf |
| 7 ECC508 | https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005928A.pdf |
| 8 W25Q16 | https://www.winbond.com/resource-files/w25q16dw_revj_090114.pdf |
| 9 CMWX1ZZA BZ Firmware | https://github.com/arduino/mkrwan1300-fw |
| 10 ECC508 Library | https://github.com/arduino-libraries/ArduinoECCX08 |
| 11 W25Q16 Library | https://github.com/arduino-libraries/Arduino_MKRMEM |

Sferics Detector

Grundlagen / LoRa Arduino MKR WAN 1310 Specifications Circuit



LoRa Antenne
(863MHz)
SMA Micro Buchse



Sferics Detector

LoRa Arduino MKR WAN 1310 Specifications Scetch Einstellungen

Kalibrierung der Spannungsteiler für die Messung der Spannungen

Spannungsmessung	Input-Pin	Scale	Const
Peak-Hold 10kHz	A1	6.2	0.0
Peak-Hold 28 kHz	A2	14.0	0.0
U_Versorgung	A3	1.63	0.0

Spannungsteiler vor Analog-Eingänge siehe Schaltplan

ADC Referenzspannung (nom.) 3,3 V

ADC Auflösung (std.) $1024 = 2^{10}$ entspricht : $0,003V * 4,1 = 0,012V$

Achtung: Analog Input nicht über 3,3 V ausfahren!!

Programm-Information:

Sketch (C++): Sferics_RX_MKR_1310_LoRa.ino

Folder: C:\Users\schedler\Documents\Arduino\Sferics_RX_MKR_1310_LoRa\

Host: EMVLab

Bibliotheken für den Scetch;:

```
#include <MKRWAN.h> // Arduino MKR WAN Library
```

```
#include <Arduino_PMIC.h> // Power Management BQ24195
```

LoRaWAN (TTS) Zugangs-Credentials:

```
#include "arduino_secrets_sferics.h" // App-EUI, App-KEY
```

Enum. Status-Meldung:

Fehler / Bit-Pos:	8	7	6	5	4	3	2	1	Dec
Normalbetrieb 5V	0	0	0	0	0	0	0	0	00
Backup-Batteriebetrieb	0	0	0	0	0	0	0	1	01

MKR LoRa Device Einstellungen (hard-coded):

Parameter [Einheit]	Wert
Sendeintervall LoRaWAN [min]	2
LoRaWAN MAC poll-Intervall [µsec]	ca. 300
Blinkintervall/-dauer Normalbetrieb [sec]	Transmit
Blinkintervall/-Dauer bei fehlender LoRaWAN Verbindung [sec]	0,5 / 0,05
Limit Eingangsspannung [V]	5,2
Unteres Limit Eingangsspannung für Netzausfall [V]	4,8
PMIC: Grenzwert Modul Eingangsspannung [V]	3,88
PMIC: Minimale System-Spannung MKR [V]	3,3
PMIC: Ladeschluss-Spannung für Modul-Backup-Batterie [V]	4,2
PMIC: Modul Backup-Batterie max. Ladestrom [mA]	750

Erläuterung:

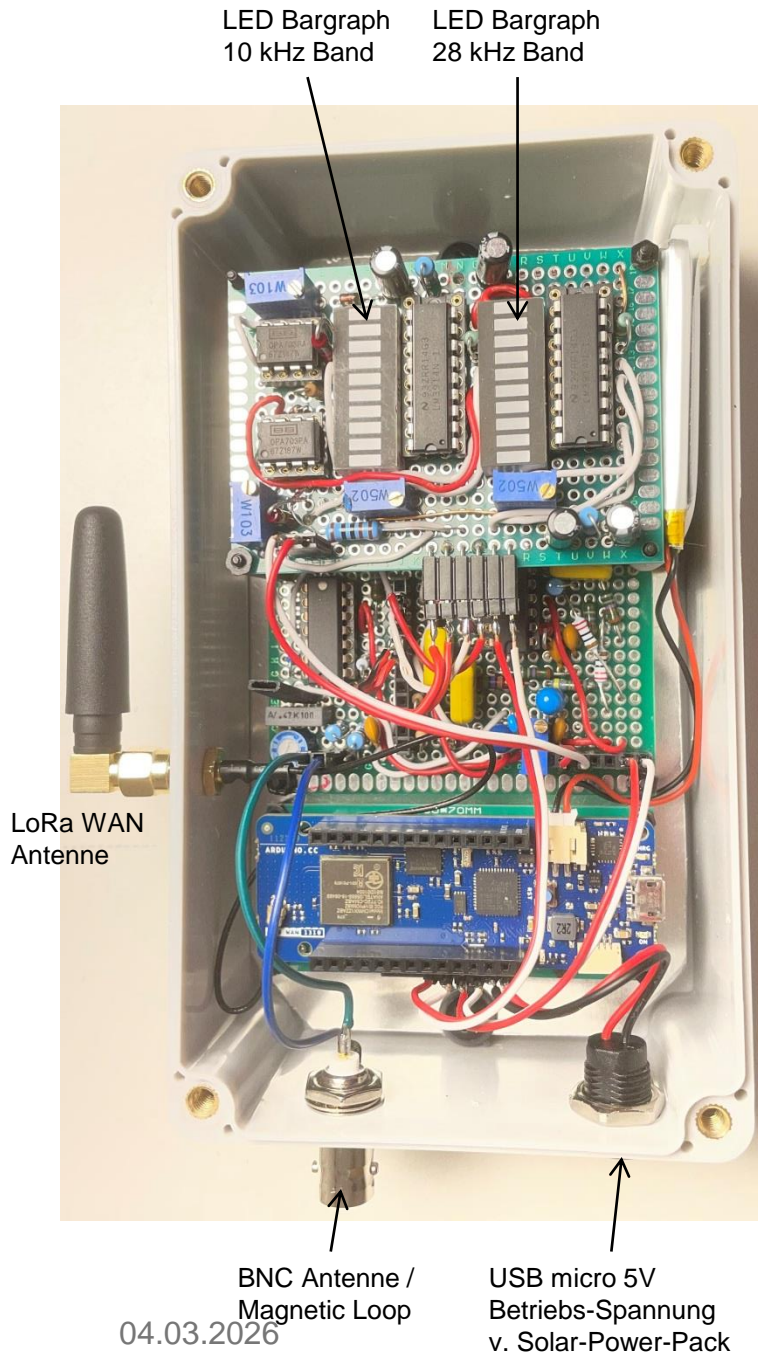
PMIC = PowerManagement Integrierter Schaltkreis MKR

Software ohne Einstellung der PMIC: Verwendung Standard Parameter

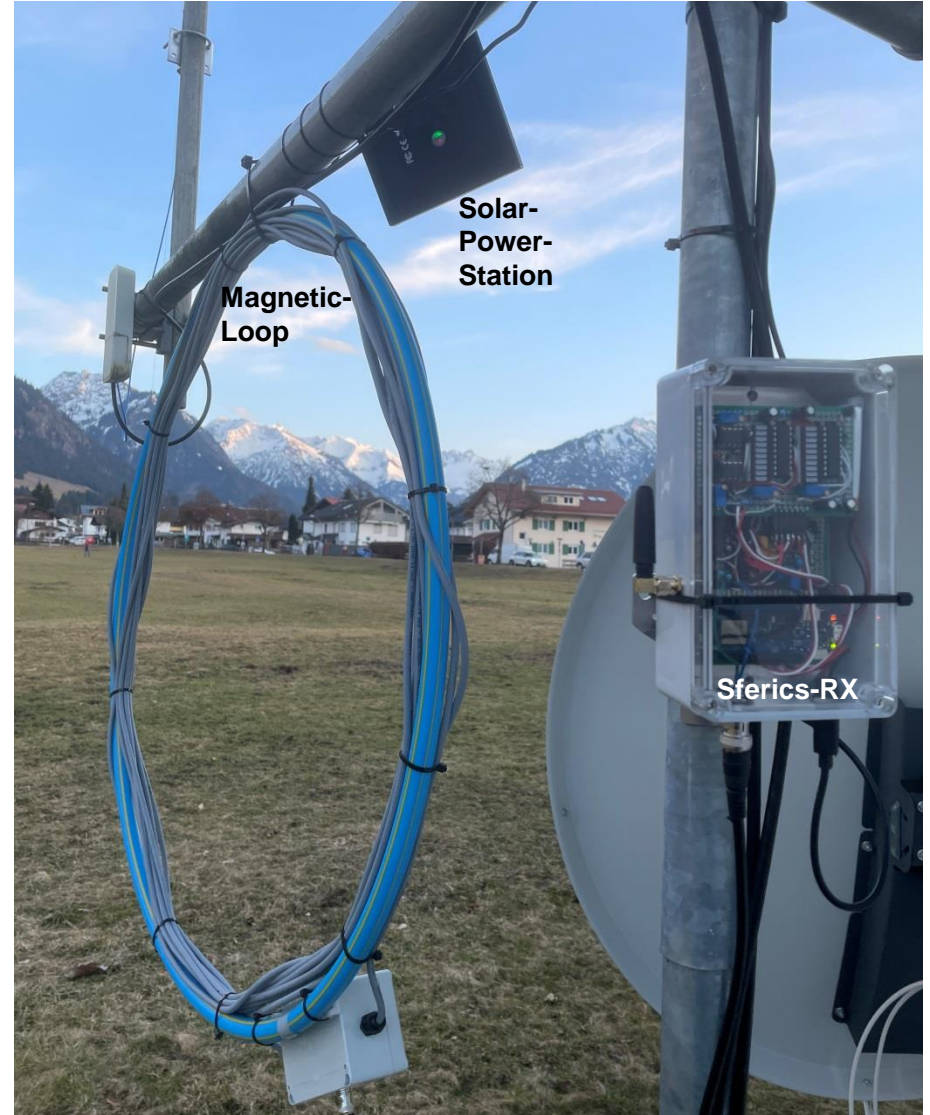
Payload Format:

Byte	Symbol	Bedeutung
1	lowByte(M10k)	Sferics Magnetflussdichte 10kHz Band 0...64000 [nT], Auflösung 1 nT
2	highByte(M10k)	
3	lowByte(M28k)	Magnetflussdichte 28kHz Band 0...64000 [nT], Auflösung 1 nT
4	highByte(M28k)	
5	lowByte(Ub)	Versorgungsspannung 0...5,0 [V], Auflösung 0,01 V
6	highByte(Ub)	
7	Byte(Status)	1 Byte Statusmeldung (enum siehe unten)

Sferics-RX Ausführung



04.03.2026



Sferics (AIS) Impuls Empfänger

Sferics Detector

Entwurf / Arduino MKR WAN 1310 LoRa TTN Einstellungen

Payload Formatter:

Setup

Formatter type*

Custom Javascript formatter

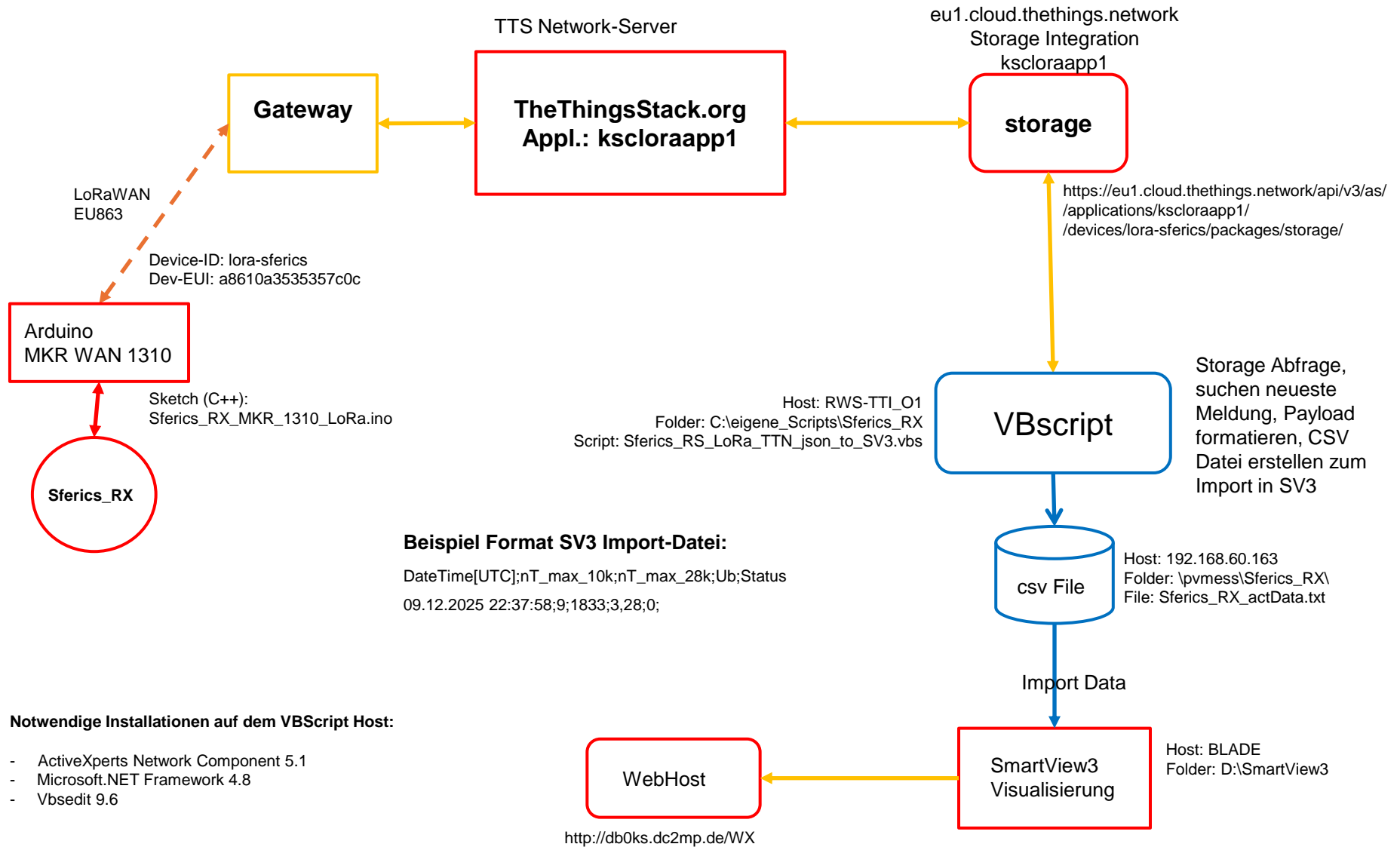
Formatter code*

```
1 function decodeUplink(input) {  
2   return {  
3     data: {  
4       bytes: input.bytes  
5     },  
6     warnings: [],  
7     errors: []  
8   };  
9 }
```

General information	Application: Entwicklungstest ID: kscloraapp1
End device ID	lora-sferics
Frequency plan	Europe 863-870 MHz (SF12 for RX2)
LoRaWAN version	LoRaWAN Specification 1.0.2
Regional Parameters version	RP001 Regional Parameters 1.0.2
Created at	Nov 30, 2025 17:57:16
Activation information	
AppEUI	00 00 00 00 00 00 00 00
DevEUI	A8 61 0A 35 35 35 7C 0C
AppKey	A9 78 2D 64 17 96 95 12 0C 47 FC 8D 5E B5 FA 35

Sferics Detector

Entwurf / Arduino MKR WAN 1310 / LoRa TTN Datenflussplan



Sferics Detector

User-Interface Sferics-RX mit Smartview3

Link: <http://ws.ks-imm.de/000000014/index.html>

Aktuelle Darstellung

Sferics_RX

Diagramme:

- [Datenarchiv Tageswerte SFERICS-RX](#)
- [Datenarchiv Wochenwerte SFERICS-RX](#)

Name	Sferics_RX		
Status	Status Ok		
Ort	Oberstdorf		
Nächste Abfrage	jetzt		

max_Impuls_10k_Band	imp	0.00	nT	04.03.2026 17:22:19	Ok
max_Impuls_28k_Band	imp	0.00	nT	04.03.2026 17:22:19	Ok
Betriebsspannung	imp	5.01	V	04.03.2026 17:22:19	Ok
Sferics_RX_status	imp	0.00	enum	04.03.2026 17:22:19	Ok

Atmosphärische Impulsstrahlung (Sferics) [nT]

Sferics-RX Status

Interneted by KSI GmbH&Co.KG, Oberstdorf, 2011

Datenarchiv (täglich, wöchentlich)

Datenarchiv Tageswerte SFERICS-RX

< <

- [Druckansicht](#)
- [Tabelle\(n\)](#)
- [Seiten Archiv](#)
- [CSV download](#)

Zeit Intervall 04.03.2026 00:00:00 - 05.03.2026 00:00:00

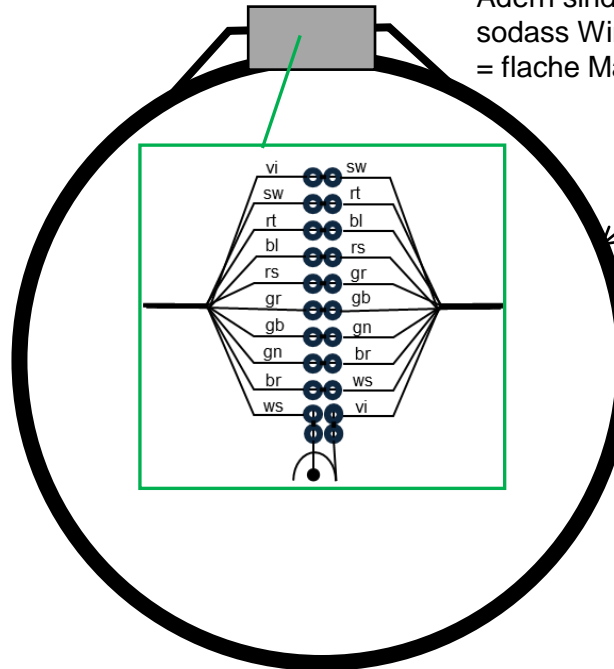
Diagramm Tageswerte SFERICS Magnetflussdichten [nT]

Diagramm Tageswerte Betriebsspannung [V]

Interneted by KSI GmbH&Co.KG, Oberstdorf, 2011

Sferics Detektor

Versuchsaufbau: Magnetic Loop-Antenne mit mehreren Windungen



Adern sind so miteinander verbunden, sodass Windungen zustande kommen = flache Magnetspule

Steuerkabel 10 x 0,14qmm, Cu-Litze nicht verdreht, nicht abgeschirmt
In mehreren Schleifen. Zusätzlich sind die Adern zu Windungen zusammengeschaltet.

Farbcodierung Adern (DIN 47100)

1	ws	weiß
2	br	braun
3	gn	grün
4	gb	gelb
5	gr	grau
6	rs	rosa
7	bl	blau
8	rt	rot
9	sw	schwarz
10	vi	violett

Die Eigenschaften können theoretisch aus Folgenden Zusammenhängen grob abgeschätzt werden:

Die zu erwartende Induktivität der Loop-Antenne L_{Loop} in Abhängigkeit von der Windungszahl N und der Windungslänge l_K und Aderdurchmesser D_{Ader} der Cu-Litze ist in grober Näherung wie folgt:

$$L_{Loop} [H] \approx 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot N^2 \cdot 2 \cdot l_K [m] \cdot \left(\ln \left(\frac{2 \cdot l_K [m]}{D_{Ader} [m]} \right) - 1,75 \right)$$

$$D_{Ader} [m] = 2 \cdot \sqrt{\frac{QF_{Ader} [m^2]}{\pi}}$$

$$R_{Loop} [\Omega] = \rho [\Omega / m] \cdot l_K [m] \cdot N$$

$$l_K [m] = \pi \cdot D [m]$$

$$A [m^2] = \pi \cdot \left(\frac{D [m]}{2} \right)^2$$

Durchmesser Loop D_{loop} : 0,8 m
 Aderquerschnitt QF_{Ader} : 0,14 qmm
 Aderanzahl Kabel N_A : 10
 Anzahl Kabel-Schleifen N_K : 9
 Gesamtzahl Windungen N : 90
 Cu-Li Aderdurchmesser D_{Ader} : 0,42 mm = 0,00042 m
 Länge einer Windung l_K : ca. 2,51 m
 Spezifischer Widerstand Cu-Litze ρ : <130 Ω /km = 0,13 Ω /m
 Gleichstrom-Widerstand R_{Loop} : ca. 29,25 Ω
 Umschlossene Fläche A : ca. 0,5 qm
Induktivität Loop-Antenne L_{Loop} : ca. 0,39 H

Sferics Detektor

Kalibrierung: Loop-Antenne mit mehreren Windungen

Kalibrierung der Antenne über bekannte Feldstärke des DCF77 Senders:

Bekannte Feldstärke DCF77 am Ort (ENAMS): +60dBμV/m; $\mu \approx 1,26 \cdot 10^{-6}$ und $Z_0 \approx 377[\Omega]$

Magnetflussdichte $B[T]: \approx 3,3 \cdot 10^{-12} = 3,3 \text{ pT}$

$$B[T] = \mu_0 \cdot \frac{10^{\frac{E[\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}]}{20}}}{Z_0[\Omega]} \cdot 10^{-6}$$

Messung der Klemmenspannung des DCF77 Signals mittels RSP Empfänger in dBm an 50 Ohm und Vergleich mit dem theoretischen Ansatz!

Theoretischer Ansatz: Die induzierte Leerlaufspannung ergibt sich aus den konstruktiven Eigenschaften der Loop wie folgt:

$$U_0[V] = N \cdot A[m^2] \cdot 2 \cdot \pi \cdot f[\text{Hz}] \cdot B[T]$$

$$Z_{Loop}[\Omega] = R_{Loop}[\Omega] + j\omega L[\Omega]$$

$$|Z_{Loop}| = \sqrt{R_{Loop}^2[\Omega] + (2 \cdot \pi \cdot f[\text{Hz}] \cdot L[H])^2}$$

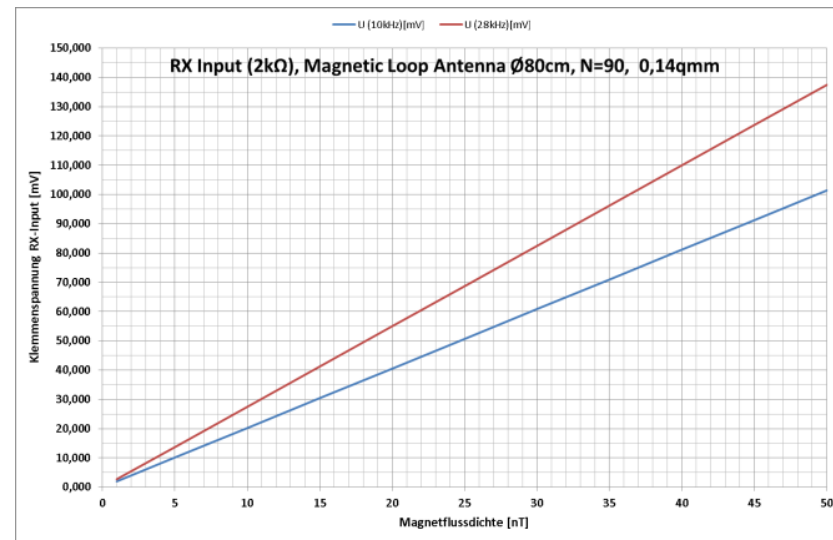
Die tatsächliche Klemmenspannung (Betrag) kann näherungsweise aus der Induktivität und dem Wirkwiderstand der Loop, sowie der Eingangsimpedanz des Empfängers abgeschätzt werden:

$$|U_{RX}[V]| = |U_0[V]| \cdot \frac{R_{RX}[\Omega]}{\sqrt{(R_{RX}[\Omega] + R_{Loop}[\Omega])^2 + (2 \cdot \pi \cdot f[\text{Hz}] \cdot L_{Loop}[H])^2}}$$

Falls die Impedanz der Induktivität der Loop hoch ist im Vergleich zum Wirkwiderstand und dem Eingangswiderstand des Empfängers, kann grob vereinfacht wie folgt gerechnet werden:

$$U_{RX}[V] = U_0[V] \cdot \frac{R_{RX}[\Omega]}{2 \cdot \pi \cdot f[\text{Hz}] \cdot L_{Loop}[H]}$$

$$U_{RX}[V] = AF \cdot B[T] \cdot \frac{R_{RX}[\Omega]}{L_{Loop}[H]}; AF = N \cdot A[m^2]$$



Sferics Detektor

Kalibrierung (cont'): Loop-Antenne mit mehreren Windungen

Kalibrierung der Antenne über bekannte Feldstärke des DCF77 Senders:

Bekannte Feldstärke DCF77 am Ort (ENAMS): +60dBµV/m; $\mu \approx 1,26 \cdot 10^{-6}$ und $Z_0 \approx 377[\Omega]$

Magnetflussdichte $B[T]: \approx 3,3 \cdot 10^{-12} = 3,3 \text{ pT}$

$$B[T] = \mu_0 \cdot \frac{10^{\frac{E[\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}]}{20}}}{Z_0[\Omega]} \cdot 10^{-6}$$

Messung der Klemmenspannung des DCF77 Signals mittels RSP Empfänger in dBm an 50 Ohm und Vergleich mit dem theoretischen Ansatz!

Aus der Messung der Klemmenspannung des DCF77 Signals (RSP mit 50Ω) aus der Loop-Antenne kann über die ebenfalls ermittelten Ersatz-Komponenten die Leerlaufspannung (bei 77,5kHz) grob abgeschätzt werden.

$$|U_0[V]| = |U_K[V]| \cdot \frac{Z_L[\Omega] + Z_K[\Omega]}{Z_K[\Omega]} \quad \text{bei } f = 77,5\text{kHz}$$

$$Z_L[\Omega] = R_L[\Omega] + 2 \cdot \pi \cdot f[\text{Hz}] \cdot L_L[H]$$

$$Z_K[\Omega] = \frac{1}{\frac{1}{R_i[\Omega]} + 2 \cdot \pi \cdot f[\text{Hz}] \cdot C_p[F]}$$

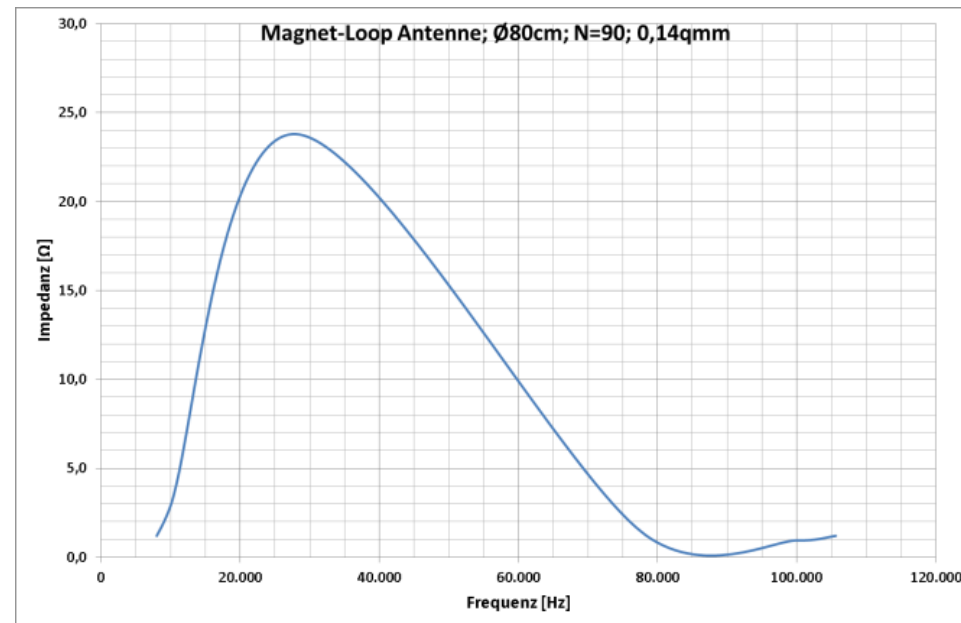
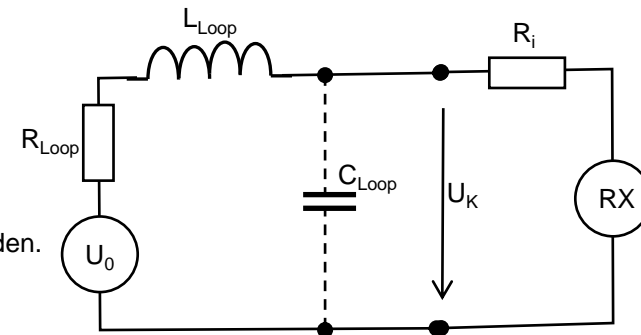
Bei höheren Frequenzen dominiert die parasitäre Kapazität der Anordnung. Bei ca. 28kHz eine deutliche Resonanz aus parasitärer Kapazität und der Induktivität

Meßergebnisse der Loop:

Wirkwiderstand: ca. 27,5 Ω
Induktivität: ca. 23 mH
paras. Kapazität: ca. 1,2 nF

Ersatzschaltbild:

(aus idealen Komponenten)



Sferics Detektor

Kalibrierung (cont'): Loop-Antenne mit mehreren Windungen

Sinus 10 kHz Band					
	f [Hz]	±Uin [mV]	±Ugpp Max [V]	U _{ph} [V]	B [nT]
	3500	2	4	3,6	22
	10000	10	4	3,6	22
	15000	25	1	0,8	5
Sinus 28 kHz Band					
	20000	9	4	3,6	50
	23500	6	4	3,6	50
	23500	2,5	0,88	0,48	7
	30000	11,5	4	3,6	50
Impuls gedämpft Wiederhol-Periode 10 kHz Band					
Period [ms]	f [Hz]	±Uin [mV]	±Ugpp Max [V]	U _{ph} [V]	
5	2000	3	4,7	4	25
5	2000	1,1	4,7	0,4	2
Impuls gedämpft Wiederhol-Periode 28 kHz Band					
0,58	17240	12,5		3,6	50
Impuls gedämpft Burst 10 kHz Band					
1000	2000	22,5		2,4	15
Impuls gedämpft Burst 28 kHz Band					
1000	17240	22,5	1,6	0,8	11

Vermessung des Sferics-RX mittels Pulsgenerator.
Eingangssignal ±U_{in} in mV und Ausgang Filter ±U_g [V] und Eingang MKR Analog-Input Ausgang peak-Hold Unipolar in V

Magnetic-Loop-Antenne (Flachspule) 10x9=90 Windungen, Durchmesser: 80cm, Aderquerschnitt: 0,14qmm. U₀ ist induzierte Leerlaufspannung. U_k die resultierende Klemmenspannung am Eingang des RX unter Berücksichtigung der Impedanz der Magnet-Loop und der Eingangsimpedanz des RX.

Berechnung der Klemmenspannung versus Magnetfelddichte und Berechnung der Skalierungsfaktoren für MKR Wan 1310.

VF ist Verstärkungsfaktor Sferics-RX; **Rot: in Begrenzung Analog-Eingang MKR**

Rin [Ohm]	f [Hz]	B [T]	U ₀ [V]	Z Loop	Z K	U _k [V]	U _k [mV]	VF	A	Scale [nT/V]
50	7,75E+04	3,30E-12	7,16E-05	1,12E+04	4,86E+01	3,09E-07	0,000			
2000	7,75E+04	3,30E-12	7,16E-05	1,12E+04	9,22E+02	5,44E-06	0,005			
2000	10000	5,00E-08	1,40E-01	1,47E+03	1,74E+03	7,58E-02	75,784	106,6	3,3	20,4243354
2000	10000	1,00E-09	2,80E-03	1,47E+03	1,74E+03	1,52E-03	1,516	106,6	0,2	6,189
2000	28000	1,00E-09	7,84E-03	4,07E+03	1,41E+03	2,01E-03	2,012	35,5	0,1	14,002
2000	28000	5,00E-08	3,92E-01	4,07E+03	1,41E+03	1,01E-01	100,590	35,5	3,3	46,2060603

Sferics Detektor

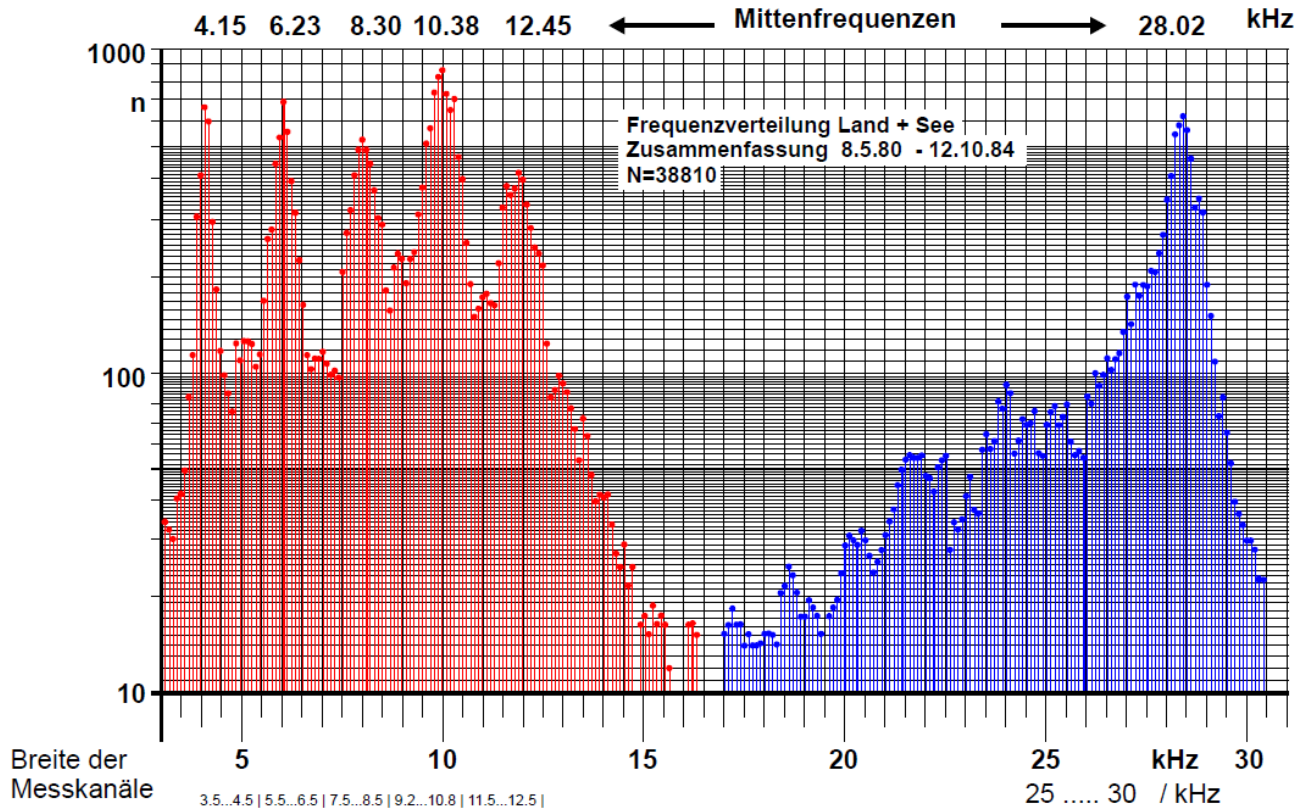
Anhang

- AIS Atmosphärische Impulsstrahlung (Sferics)

Sferics Detektor

Atmosphärische Impulsstrahlung CD-Sferics a.t.B. Spektren gem. H.Baumer

Spektren der CD-Sferics a.t.B. (convective discharge Sferics according to Baumer)



Vereinfachte Frequenzbänder für Detektor:

- 1) 0 ... 16 kHz (Tiefpass)
- 2) 17 ... 31 kHz (Bandpass)

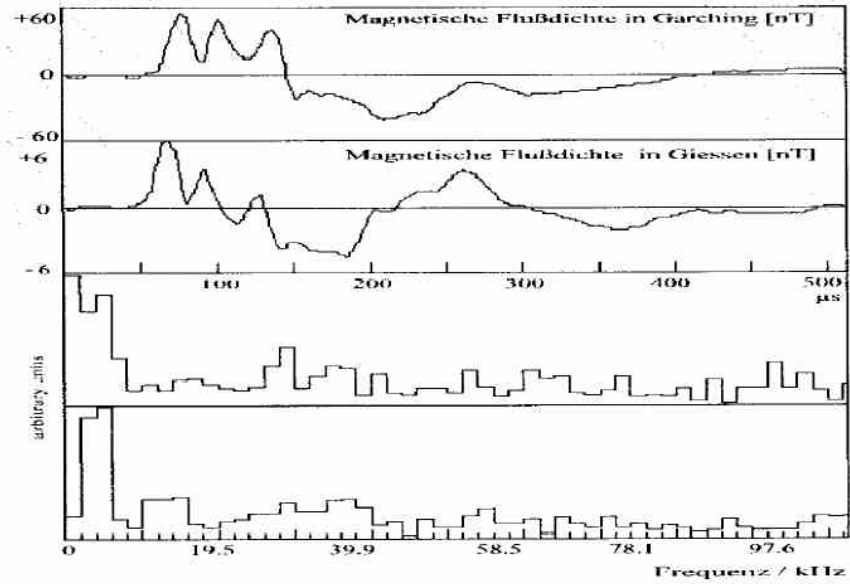
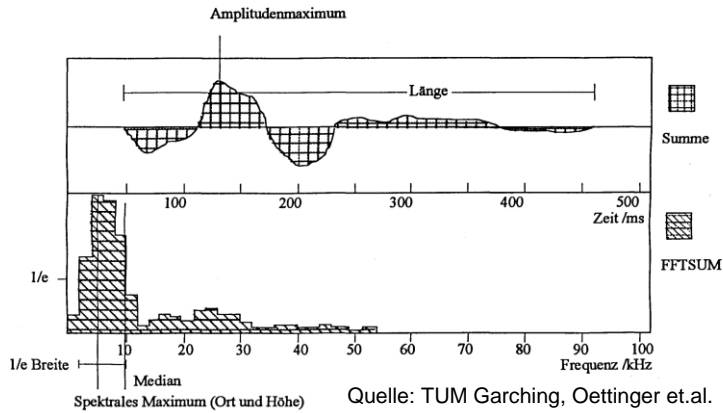
Quelle: Baumer, Sönning 2002

CD-Sferics a.t.B. (AIS) Impulsspektren und deren Herkunft:

- 10 kHz und horizontaler Luftströmung unter überwiegend **stabiler** Luftschichtung,
- 28 kHz und hochreichender Vertikalturbulenz bei **labiler** Luftschichtung,
- 10+8 kHz und Zufuhr wärmerer Luft, z.B. erwärmter Meeresluft polaren Ursprungs,
- 10+8+4 kHz und verstärkter Zufuhr z.B. *subtropischer* Warmluft vor Warmfronten
- 10+12 kHz und Zufuhr kälterer Luft, z.B. *polarmaritimer* Luftmassen an Frontrückseiten,
- 10+6+12 kHz und Zufuhr **labil** geschichteter Kaltluftmassen aus nördlichen Breiten,
- 48 kHz und abziehende Wetterfronten
- *EMP* - Form und **Grundschichtlabilität** (bis ca. 3000m) mit Absinken in der Höhe, u.a.

Sferics Detektor

Form, Amplitude u. Spektren der AIS (Sferics) Impulse



Quelle: LMU München, JLU Giessen, Schienle, Kulzer et.al., 1997

