

LoRaWAN verstehen und betreiben

Theorie und drei Jahre Praxiserfahrung

Ludwig Weinzierl

Augsburger Linux-Infotag, 2. Mai 2026

weinzierlweb.com

Agenda

1. Warum LoRaWAN
2. Wie LoRaWAN funktioniert
3. Öffentliche und private Netze
4. Praxisbericht: drei Jahre privates Netz
5. Was es sonst noch gibt
6. NB-IoT als Alternative

Im Anschluss: 15 Minuten Hands-on mit verschiedener Hardware.

Vorkenntnisse: grundlegendes Interesse an Funktechnik und IoT.

Wer ich bin

Ludwig Weinzierl, Senior Software Developer bei einer Münchner Security-Firma.

Co-Organisator des Rust Munich Meetup. Aktiv in der Open-Source-Community.

Privat: LoRaWAN-Heimnetz, Embedded Systems, Retro Computing,
Spieleentwicklung mit Bevy.

Auslöser: TTN-Workshop am LIT 2023

Prof. Hubert Högl's TTN-Workshop auf dem Augsburger Linux-Infotag 2023 hat mich auf das Thema gebracht.

Hands-on mit verschiedenen Geräten: erste praktische Berührung mit LoRaWAN.

Im Anschluss eigenes Netz aufgebaut. Drei Jahre später dieser Vortrag.

Warum LoRaWAN?

Ausgangslage

Haus in der Oberpfalz, Wohnung und Geschäft beide leerstehend.

Weihnachten 2022: Heizungsausfall. Zufällig vor Ort bemerkt.

Risiken bei längerer Abwesenheit: Rohrbruch, Wasserschaden, Folgeschäden über Wochen unentdeckt.

Konsequenz: systematische Fernüberwachung erforderlich.

Anforderungen

- Reichweite: Hunderte Meter bis Kilometer, durch Wände hindurch
- Energiebedarf: Batterielaufzeit Jahre, kein regelmäßiger Wechsel
- Betriebskosten: keine SIM-Karten, keine monatlichen Gebühren pro Sensor
- Skalierbarkeit: viele Sensoren auf einer Infrastruktur
- Offenheit: keine proprietäre Cloud-Bindung

WLAN, Bluetooth, Zigbee scheiden wegen Reichweite oder Stromverbrauch aus. Klassischer Mobilfunk wegen laufender Kosten pro SIM. NB-IoT als Schmalband-Variante kann bei Einzelstellen passen, dazu am Ende mehr.

Erste Versuche, kommerziell

In der Akutphase getestet:

- Mobeye GSM-Sensor: funktional, aber Subscription-Modell pro Gerät
- GSM ONE: gleiches Konzept, gleiche Skalierungsprobleme

Beide geeignet für eine kritische Stelle. Nicht geeignet für ein systematisches Monitoring mit zehn oder mehr Sensoren.

Funktechnologien im Vergleich

Technologie	Reichweite	Strom	Kosten je Sensor
WLAN	50 m	hoch	keine, aber Strom
Bluetooth LE	10 m	niedrig	keine
Zigbee, Z-Wave	30 m + Mesh	niedrig	keine
Mobilfunk (LTE, LTE-M)	km	mittel	SIM, monatlich
NB-IoT	km	niedrig	SIM, einmalig oder Abo
LoRaWAN	km	sehr niedrig	einmalig

Warum LoRaWAN?

LoRaWAN: passend für Sensoren mit niedriger Sendefrequenz und langer Lebensdauer.

Wie funktioniert LoRaWAN?

Architektur

Sensor → Gateway → Network Server → Application Server

- Sensor (End-Device): batteriebetrieben, sendet Messwerte
- Gateway: empfängt auf mehreren Kanälen parallel, leitet Pakete via Internet weiter
- Network Server: dedupliziert, prüft Sicherheit, routet
- Application Server: Anwendung, Datenbank, Dashboard, Alarmierung

Sensoren senden ungerichtet. Welches Gateway empfängt, entscheidet die Funkphysik.

Geräteklassen A, B, C

Klasse	Empfangsfenster	Strom
A	Empfang nur kurz nach jedem Uplink (zwei Fenster). Pflicht.	sehr niedrig
B	Zusätzlich periodische Empfangsfenster, synchronisiert per Beacon.	mittel
C	Empfänger praktisch immer offen.	hoch

Batteriegeräte: Klasse A. Netzversorgte Aktoren: Klasse C. Klasse B in der Praxis selten.

LoRa und LoRaWAN

LoRa: die Modulation. Chirp Spread Spectrum, von Semtech patentiert.

LoRaWAN: das MAC- und Netzwerkprotokoll auf LoRa. Frames, Sicherheit, Routing, Adaptive Data Rate.

Im Folgenden zuerst die Modulation, dann die Frames.

Spreading Factor und Bandbreite

Zwei Parameter steuern Reichweite und Datenrate:

- Spreading Factor (SF7 bis SF12): Bits pro Symbol. Höherer SF = mehr Reichweite, weniger Datenrate.
- Bandbreite (125, 250, 500 kHz): wie schnell der Chirp die Frequenz durchläuft.

$$\text{Symbolzeit: } T_{\text{sym}} = \frac{2^{\text{SF}}}{\text{BW}}$$

SF7 bei 125 kHz: ca. 1,024 ms pro Symbol. SF12 bei 125 kHz: ca. 32,8 ms pro Symbol (32-fach länger).

Werbeunterbrechung: lorawanwiz

Selbstgeschriebener LoRaWAN-Modulations-Visualizer.

Funktionen

- Nachricht eingeben, SF und BW wählen
- Schrittweise Verschlüsselung
- MIC-Berechnung
- Frame-Layout auf der Luft
- Symbolstrom mit Gray-Coding
- Chirps anschauen und anhören

Eigenschaften

- Open Source
- Offline lauffähig
- PDF-Export aller Schritte

github.com/weinzierl/lorawanwiz

Verschlüsselung: AES-128 im CTR-Stil

LoRaWAN verschlüsselt FRMPayload per XOR mit einem Keystream:

$$S_i = \text{AES}_{\text{AppSKey}}(A_i)$$

Der Block A_i enthält Richtung, DevAddr, FCnt, Blockindex. Jeder Keystream-Block damit eindeutig.

Empfänger berechnet S_i identisch und XORt zurück.

Integrität: MIC mit CMAC-AES-128

Vier Bytes am Frame-Ende sichern Integrität und Authentizität.

$$\text{MIC} = \text{CMAC}_{\text{NwkSKey}}(B_0 \parallel \text{msg})[0..4]$$

B_0 ist ein 16-Byte-Authentifizierungsblock (Richtung, DevAddr, FCnt, Länge). msg ist der Frame ohne MIC.

Ohne NwkSKey kein gültiger MIC, kein angenommenes Paket.

Frame-Layout auf der Luft

MHDR	DevAddr	FCtrl	FCnt	FPort + FRMPayload	MIC
1 B	4 B (LE)	1 B	2 B (LE)	1 + N B	4 B

Beispiel: Nachricht „hello“, SF7, 125 kHz, CR 4/5:

```
40 88 1F 01 26 00 01 00 01 1C 75 68 49 CC 31 76 C8 BE
```

18 Bytes auf der Luft. Verschlüsselt, integritätsgesichert, mit Frame Counter gegen Replay.

Vom Frame zu Symbolen

Frame-Bytes werden in SF-Bit-Symbole gepackt und Gray-codiert.

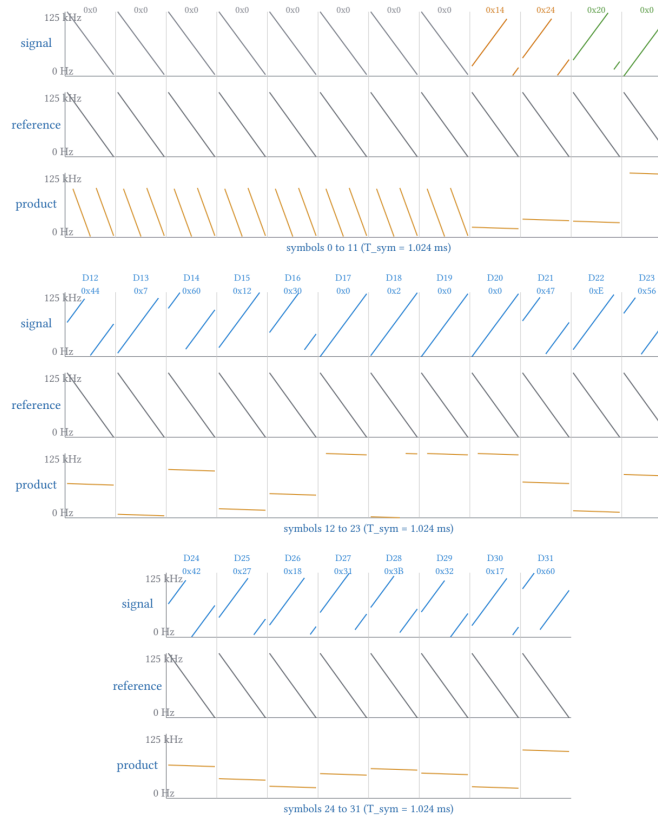
Bei SF7: 7 Bit pro Symbol, 128 mögliche Werte (0x00 bis 0x7F).

Vor den Daten:

- Preamble: 8 Symbole zur Empfänger-Synchronisation
- Sync Words: Netzkennung
- Header: 2 Symbole (Länge, Coding Rate, CRC-Flag)

Für „hello“: 32 Symbole insgesamt, Airtime ca. 33 ms.

Modulation: jeder Symbolwert ist ein Chirp



Was der Empfänger tut

Der Empfänger multipliziert das Eingangssignal mit dem konjugierten Basis-Upchirp.

Für ein Datensymbol mit Wert v bleibt eine konstante Frequenz übrig:

$$f_v = v \cdot \frac{BW}{2^{SF}}$$

Aus dem komplizierten Chirp wird ein konstanter Ton. FFT, Peak-Detektion.
Robust gegen Rauschen.

Hörbar gemacht

LoRa nutzt im EU-Band 868 MHz Trägerfrequenz mit 125 kHz Bandbreite. Beides weit oberhalb des Hörbaren.

lorawanviz skaliert auf 3 kHz und 80 ms pro Symbol. „hello“ wird zu einem 2,5-Sekunden-Audiosignal.

Live-Demo

Öffentliche und private Netze

Drei Wege ins LoRaWAN

- The Things Network (TTN): community-betrieben, kostenlos. Wer ein Gateway hat, trägt bei.
- Helium: kommerziell, Krypto-basiertes Anreizmodell.
- Eigenes Netz: ChirpStack oder vergleichbar. Volle Kontrolle, keine Abhängigkeit.

Eigene Wahl: TTN mit eigenem Gateway. Kostenlos, dokumentiert, Webhooks und MQTT zur eigenen Datenbank. Daten gehen in eigene Infrastruktur.

Praxisbericht: Drei Jahre privates Netz

Setup

- Gateway: RAK-Industriegateway, im Haus montiert, 24/7
- Sensoren: vorwiegend Dragino, Wetterstation von SenseCAP
 - Temperatur und Feuchtigkeit (LHT65)
 - Tür- und Fensterkontakte
 - Wasserleck in Küche, Bad, Heizraum
 - Bewegung
 - SenseCAP-Wetterstation
- Backend: TTN, Webhook, eigene DB



RAK WisNode Tester und SenseCAP-Wetterstation

Was funktioniert

- Heizungsausfall im Januar erkannt, bevor etwas einfror
- Fenster offen vergessen: Push-Nachricht
- Wasserleck im Heizraum: Alarm in unter einer Minute
- Original-Batterien in Sensoren laufen seit dem ersten Tag
- Gateway-Uptime nahe 100 %

Das eigentliche Ziel: erreicht.

Inspirationsbeispiel: Paxcounter Dillingen

Projekt von Prof. Hubert Högl an der Akademie für Lehrerfortbildung Dillingen.

LoRaWAN-Paxcounter im Speisesaal, seit August 2025 produktiv. Zählt anonyme WLAN- und BLE-MACs zur Auslastungsmessung.

Plot: hhoegl2.informatik.tha.de/bokeh/plots

Fehler 1 bis 4: Hardware-Sackgassen

- 1. Mobeye gekauft.** Subscription-Modell, skaliert nicht.
- 2. GSM ONE gekauft.** Gleiches Problem. Eine Messstelle pro Gerät.
- 3. Fremdes TTN-Gateway angenommen.** Auf der TTN-Karte ein Gateway in Nabburg. Vor Ort: Wald, Hügel, kein Empfang.
- 4. The Things Indoor Gateway.** Klein, günstig, nicht für Dauerbetrieb gebaut. Wird im 24/7-Einsatz heiß.

Lehre: TTN-Karten zeigen Existenz, nicht Empfang. Consumer-Hardware nicht für 24/7.

Fehler 5 bis 7: Über das Ziel hinausgeschossen

5. Industrie-Gateway zu groß dimensioniert. RAK 16-Kanal mit zwei Antennen. Funktioniert tadellos, aber für 20 Sensoren überdimensioniert. 8-Kanal hätte gereicht.

6. Ein Gateway für Haus und entfernte Grundstücke. Anforderungen zu unterschiedlich.

7. Verschiedene Antennenlängen am selben Gateway. Erwartet identische Antennen, sonst Impedanz- und Phasenprobleme.

Lehre: Antennen sind keine Stellschraube zum Mischen.

Fehler 8 bis 10: Funktechnik unterschätzt

8. Line-of-Sight und Fresnel-Zone unterschätzt. Der Bereich um die Sichtlinie muss frei sein, nicht nur die Sichtlinie. Bäume, Hügel, feuchte Wiesen dämpfen massiv.

9. Empfang ohne geeignetes Tool vermessen. TTN Mapper dokumentiert nur Empfang, nicht Nicht-Empfang. GLAMOS-Device protokolliert auch Lücken.

10. Hardware in falscher Region eingesetzt. In Brasilien Mapping versucht. Antenne (AU915) passend, aber EU868-Hardware bleibt EU868.

Mapping in der Praxis

Status: **FAILED**

Kein Gateway in Reichweite. RSSI, SNR, Distance: nichts.

Genau diese Lücken sieht man auf TTN Mapper **nicht**.

Beim Mapping vom Auto aus an der Grenze des eigenen Empfangsbereichs.



RAK WisNode Tester, Fahrt durchs Empfangsloch

Zusammenfassung der zehn Fehler

1. Mobeye: Subscription, teuer
2. GSM ONE: skaliert nicht
3. Fremdes Gateway: Empfang überschätzt
4. TTN Indoor Gateway: nicht für 24/7
5. Industrie-Gateway: überdimensioniert
6. Ein Gateway für nah und fern: Anforderungen zu unterschiedlich
7. Verschiedene Antennen am selben Gateway: Phasenprobleme
8. Fresnel-Zone und Line-of-Sight unterschätzt
9. Empfangsmessung mit falschem Tool: GLAMOS hilft
10. Hardware in falscher Region: Brasilien-Episode

Funktioniert. Aber günstiger und schneller, wenn man die Fehler nicht selbst macht.

Was es sonst noch gibt

Was es sonst noch gibt

Mein Setup deckt nur einen kleinen Ausschnitt ab

Was ich habe: Klima, Wasser, Türen, Bewegung, Wetter, eine Mausefalle, ein BLE-Gateway.

Was es darüber hinaus gibt, ist deutlich kurioser. Eine kleine Auswahl auf den nächsten Folien.

Auswahlkriterium: Geräte, von denen ich gehört habe und die das Spektrum von LoRaWAN illustrieren.

Smiley-Terminals (Feedback-Boxen)

Vier Buttons in den Smiley-Farben von dunkelgrün bis rot, zur Sofortbewertung am Toilettenausgang oder beim Verlassen eines Geschäfts.

- **HappyOrNot Smiley Terminal:** finnischer Marktführer, 25 000+ Einheiten weltweit
- **Skiplly Smilio Action:** französischer Hersteller, explizit mit LoRaWAN- oder Sigfox-Anbindung

Sehr kleine Datenpakete, oft nur Tagesbilanzen pro Knopf. Ideal für Funk mit langer Batterielaufzeit.

Vieh-Tracking: Ohrmarke und Pille

- **GPS-Ohrmarken (z.B. mOOvement):** Standort und Aktivitätsmuster auf Almen oder Großweiden, wo Mobilfunk fehlt. Batterielaufzeit 1 bis 2 Jahre.
- **Rumen-Bolus:** eine funkende Pille im Pansen der Kuh, einige Modelle mit LoRaWAN-Anbindung. Misst Pansentemperatur und Bewegung. Bleibt jahrelang im Tier, harmloses Material. Frühe Erkennung von Krankheiten oder bevorstehender Geburt.

Smarte Stadtinfrastruktur

- **Kanaldeckel-Sensoren:** erkennen Verschiebung oder Diebstahl. Inklinations-Schwelle typischerweise 10° .
- **Parkplatz-Sensoren:** magnetisch oder ultraschall, Belegtmeldung pro Stellplatz. Batterielaufzeit 5 bis 10 Jahre.
- **Mülleimer-Füllstand:** Ultraschall-Distanzmessung, Tour-Optimierung statt Abfahren leerer Tonnen.

Gemeinsamer Nenner: hohe Stückzahl, niedrige Datenrate, Batteriebetrieb über Jahre.

Industrielle Spezialfälle

- **Straßenlaternen-Ausfallwarner:** Lampenausfall, Spannungsschwankungen, Überhitzung. Plug-in-Sensor in der Zhaga-Buchse moderner LED-Leuchten.
- **Parkplatz-Monitoring (LKW, Werksgelände):** Belegung von Stellplätzen und Aufenthaltsdauer. Slot-Management in Logistikzentren und Truck-Parks.
- **Bienenstock-Monitoring (LongHive):** Gewicht, Innentemperatur, Aktivität. Frühwarnung vor Schwärmen oder Königin ausfall.
- **Wasserzähler im Großeinsatz (Yorkshire Water):** 1,3 Mio. Smart Meter, Lecksuche im laufenden Betrieb, 15 Jahre Batterielaufzeit.
- **Kaltketten-Monitoring:** pharmazeutische Kühlschränke, LKW-Auflieger.
- **Predictive Maintenance:** Vibrationssensoren auf Pumpen und Anlagen.

NB-IoT als Alternative

NB-IoT als Alternative

NB-IoT (Narrowband IoT): Schmalband-LTE für IoT, mit Long-Sleep und niedrigem Energiebedarf. Andere Trade-offs als LoRaWAN.

	LoRaWAN	NB-IoT
Frequenzband	868 MHz, lizenzfrei	LTE-Band, lizenziert
Infrastruktur	Gateway / TTN	Mobilfunknetz
Reichweite	km, freie Sicht	Mobilfunkabdeckung
Strom (Idle)	sehr niedrig	niedrig (PSM, eDRX)
Datenrate	bis 50 kbps	bis 250 kbps
Kosten je Sensor	einmalig	SIM, einmalig oder Abo
Privater Nutzer	problemlos	SIM nur gewerblich

Pro und Contra

LoRaWAN

Pro:

- Lizenzfreies Band, kein Vertrag
- Hobby- und Industrie-Ökosystem
- Eigene Infrastruktur möglich

Contra:

- Eigenes Gateway oft nötig
- Duty-Cycle 1% in EU
- Standortplanung

NB-IoT

Pro:

- Vorhandene Mobilfunkabdeckung
- Kein eigenes Gateway nötig
- 3GPP-standardisiert

Contra:

- Anbieter-Abhängigkeit
- Günstige SIM nur gewerblich
- Single-Operator auf dem Land

Fallstudie: NB-IoT in der Kirche von Martinskirchen

Projekt von Prof. Hubert Högl, Niederbayern, Herbst 2025.

- **Use Case:** Ferntemperatur-Überwachung in der Kirche, da Heizung gelegentlich ausfällt
- **Warum nicht LoRaWAN:** keine Abdeckung in der Gegend, Gateway hätte 1 km entfernt aufgestellt werden müssen
- **Hardware:** Waveshare SIM7020 + Raspberry Pi Pico, DS18B20 unter Gewölbedecke
- **SIM:** 1NCE, 10 Jahre, 500 MByte für ca. 10 Euro netto
- **Protokoll:** sparsames UDP über OpenVPN auf eigenem Server
- **Schwierigkeit:** Verbindungsabbrüche durch Single-Operator-SIM auf dem Land
- **Lösung:** UHF-Richtantenne plus fehlertolerante Pico-Software mit Watchdog

Weiterführend

Prof. Hubert Högl's TTN-Workshops:

LIT 2023, ALP Dillingen 2024 und 2025. Ausführlicher Einstieg ins Thema.

Projektbeschreibung NB-IoT-Kirchenprojekt:

hhoegl.informatik.hs-augsburg.de/etc/nbiot/

Hands-on: 15 Minuten

Mitgebracht:

- Eine LoRaWAN-Mausefalle (meldet, wenn zugeschnappt)
- Verschiedene Dragino-Sensoren
- Eventuell SDR mit Live-Empfang

Hardware-Demo zusammen mit Prof. Hubert Högl, Technische Hochschule Augsburg.

Vorbeikommen, Fragen stellen, in der Hand halten.

Danksagung

Hardware-Demo

Prof. Hubert Högl

Technische Hochschule Augsburg

Inspiration

TTN-Workshop LIT 2023

ALP Dillingen 2024 und 2025

Veranstalter

LUGA, Augsburger Linux-Infotag 2026

Vortrag und Code

weinzierlweb.com

github.com/weinzierl/lorawanwiz

Kontakt



[LinkedIn](#)