

LoRaWAN - ein Überblick

PC-Treff-BB
Roland Egeler

Inhalte des Vortrags

- Grundsätzliches
- Vergleich Funknetze
- Funktechnologie
- Netzwerktechnologie
- Verschlüsselung
- Praxis – Inbetriebnahme eines Geräts
- Zusammenfassung / Weitere Geräte
- Quellen

Grundsätzliches

Was ist LoRaWAN?

- Ganz allgemein: Ein Funknetz
- Low Power Wide Area Network (LPWAN)
 - Geringer Energieverbrauch
 - Hohe Reichweite
 - Freie Funkfrequenzen
 - Keine Lizenzkosten
 - Keine hohe Bandbreite
- Geeignet für das „Internet der Dinge“ (IoT)

Grundsätzliches

Konsortium „LoRa Alliance“



- Standardisiert Spezifikation
- Zertifiziert Software
- Sichert Interoperabilität
- Schreibt Standard fort
- Mitglieder (>500):
 - IBM, Cisco, HP, Foxconn, Semtech...
 - Bosch, Diehl Messtechnik...
- Siehe auch [LoRa Alliance]

Grundsätzliches

The Things Network



- Initiative aus den Niederlanden
- Freies internationales LoRaWAN-Netz
- Netz für das „Internet der Dinge“
- Vernetzt Communities
- Entwickelt Open Source Lösungen
- Stellt Infrastruktur zur Verfügung
- Siehe auch [The Things Network]

Grundsätzliches

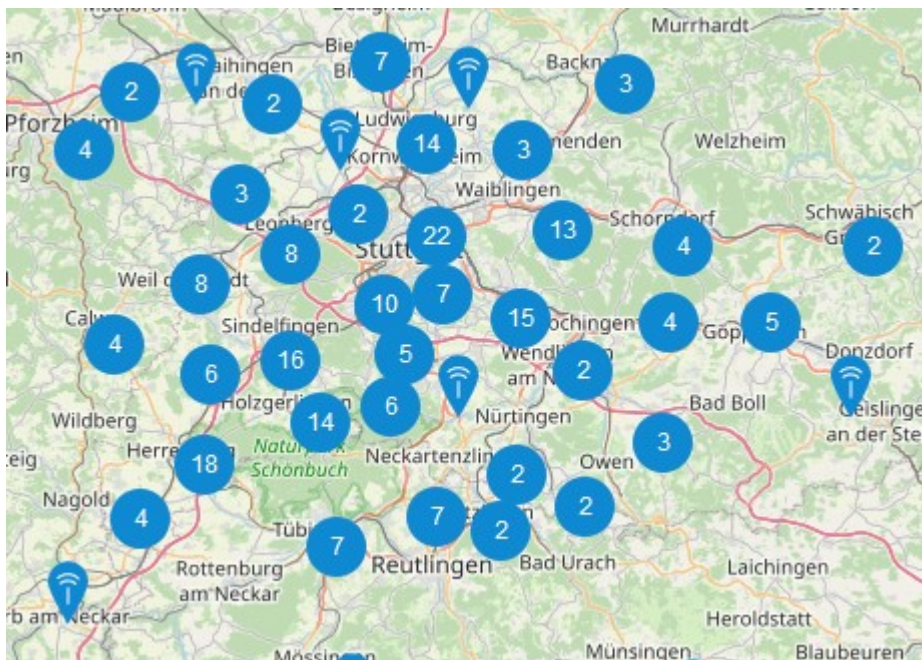
The Things Network

- Abdeckung weltweit



The Things Network

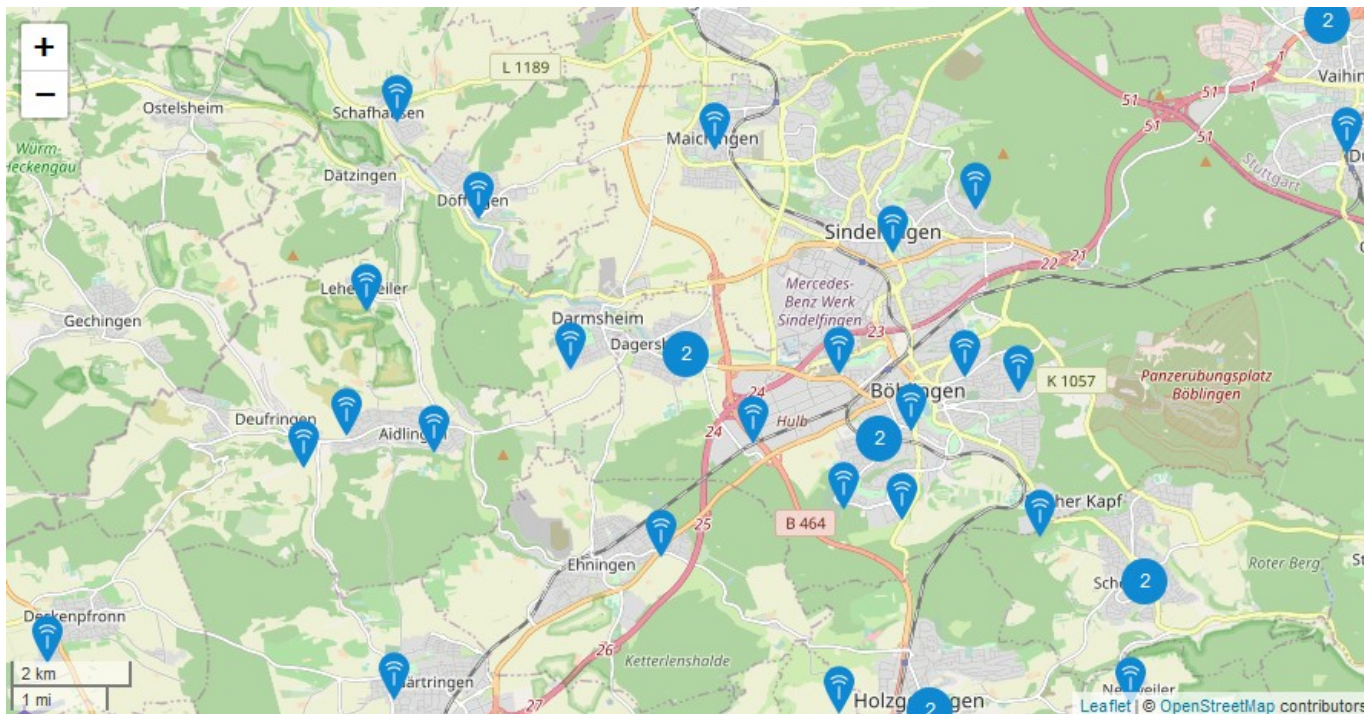
- Abdeckung regional



Grundsätzliches

The Things Network

- Abdeckung lokal



Vergleich Funknetze

Andere übliche Funknetze

- Kurzstrecke
 - Bluetooth
 - WiFi
- Langstrecke
 - Mobilfunk
 - GPRS, EDGE
 - UMTS
 - LTE
 - 5G

Vor-/Nachteile Bluetooth

- Vorteile
 - Braucht wenig Energie
 - Freies Funkband
- Nachteile
 - Geringe Reichweite
 - Geringe Bandbreite
 - Komplexer Standard
 - Nicht alle Geräte arbeiten zusammen

Vor-/Nachteile WiFi

- Vorteile
 - Freies Funkband
 - Hohe Bandbreite
 - Mittlere Reichweite
- Nachteile
 - Braucht mehr Energie
 - Nicht für lange Strecken

Vor-/Nachteile Mobilfunk

- Vorteile
 - Hohe Reichweite
 - Bei neuer Technologie auch hohe Bandbreite
- Nachteile
 - Braucht viel Energie
 - Kostenpflichtig
 - Teure Infrastruktur

Vergleich Funknetze

Ziel von LoRaWAN

- Vereinigung der Vorteile der genannten Funknetze
- Außer Bandbreite
- [TÜV]

	Local Area Network Short Range Communication	Low Power Wide Area (LPWAN) Internet of Things	Cellular Network Traditional M2M
	40%	45%	15%
	Well established standards In building	Low power consumption Low cost Positioning	Existing coverage High data rate
	Battery Live Provisioning Network cost & dependencies	High data rate Emerging standards	Autonomy Total cost of ownership
	Bluetooth 4.0 WiFi	LoRa	GSM 3G+ / H+

Benutzte Funkfrequenzen

- Unlizenziert
- Nicht sehr hochfrequent wegen Reichweite
 - 2,4 GHz und hohe Mobilfunkfrequenzen nicht gut geeignet
- 433 MHz (EU)
- 868 MHz (EU)
- 915 MHz (US)
- 430 MHz (AS)
- ...

Details

- Kanalbreite
- Reichweite
- Zeitlich beschränkte Kanalbelegung
- Spread Spectrum Modulation
- Wahlweise Belegungsprüfung
- Oder Technik für Bandbreitenanpassung
- Spreizfaktor
- Datagramm
- Geräteklassen

Kanalbreite

- Frequenzband 863-870 MHz (EU863-870, auch EU868 genannt)
- In Deutschland verteilt über zehn Subbänder
- Dort Kanalbreite meistens 125kHz
- Kanäle ab durch 100 kHz teilbaren Frequenzen
- Nächster freier Kanal daher erst 200kHz weiter

Kanalbreite

- Standardkanäle
- Weitere Kanäle können über Funk ausgehandelt werden
- Jeder Teilnehmer muss folgende Kanäle implementieren:

Modulation	Bandwidth [kHz]	Channel Frequency [MHz]	FSK Bitrate or LoRa DR / Bitrate	Nb Channels	Duty cycle
LoRa	125	868.10 868.30 868.50	DR0 to DR5 / 0.3-5 kbps	3	< 1%

- Aus [Regional Parameters]

Reichweite

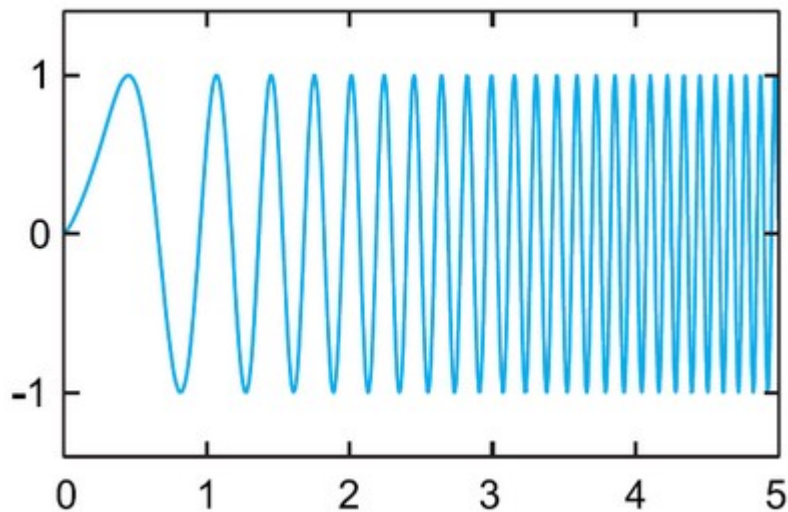
- Zwei bis 15 Kilometer
- Bei erhöhtem Standort und guter Antenne bis 50 km
- Selbstbauantenne $\lambda/4$: 8,63cm
- Bei kurzer Entfernung Verbindung aus Keller möglich
- Vernetzung innerhalb großer Gebäude
- Beim konkreten Beispiel in Maichingen 950m
- Aus offenem Treppenhausfenster
- Keine Verbindung aus Keller

Zeitlich beschränkte Kanalbelegung

- Maximale Sendeleistung 25 mW
- Soll durchschnittlich möglichst weit unterschritten werden
- Nach Signalpaket muss pausiert werden
- Auch „Duty Cycle“
- Beschränkung auf z.B. 1% der möglichen Funkzeit
- Zeitfenster zum Empfangen freihalten

Spread Spectrum Modulation

- Chirp Spread Spectrum Modulation (CSSM)
- Signale, die von niedriger zu hoher Frequenz wechseln
- Oder umgekehrt
- Sehr störfest
- Daher auch hohe Reichweite
- Keine hohen Bitraten möglich
- Gut dokumentiert und normiert
- [SEMTECH]



Belegungsprüfung

- Man darf ohne Prüfung der Kanalbelegung senden
- „Aloha“-Prinzip
- Bei hoher Belegung viele Kollisionen
- Dann sehr schlechte Datenrate
- Besser vorher prüfen, ob Kanal frei
 - CSMA/CD: Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection
 - LBT: Listen Before Talk
- Vermeidung von Kanaldoppelbelegung

Spreizfaktor

- Abwägung zwischen Reichweite und Übertragungsrate
- Benutzt werden Spreizfaktoren 7-12
- Ein Chirp mit SF7 ist halb so lang wie SF8 usw.

DataRate	Configuration	Indicative physical bit rate [bit/s]
0	LoRa: SF12 / 125 kHz	250
1	LoRa: SF11 / 125 kHz	440
2	LoRa: SF10 / 125 kHz	980
3	LoRa: SF9 / 125 kHz	1760
4	LoRa: SF8 / 125 kHz	3125
5	LoRa: SF7 / 125 kHz	5470
6	LoRa: SF7 / 250 kHz	11000
7	FSK: 50 kbps	50000
8..14	RFU	
15	Defined in LoRaWAN ¹	

Spreizfaktor

- Abwägung zwischen Reichweite und Funkdauer
- Adaptive Datenrate
- Spreizfaktor kann nach Signalstärke gewählt werden

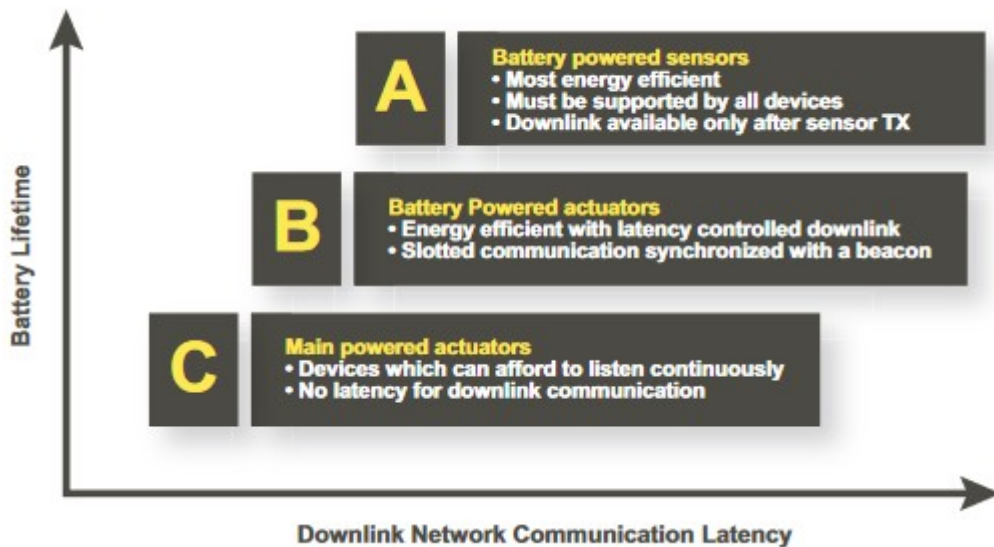
Spreading Factor (For UL at 125 KHz)	Bit Rate	Range (Depends on Terrain)	Time on Air for an 11-byte payload
SF10	980 bps	8 km	371 ms
SF9	1760 bps	6 km	185 ms
SF8	3125 bps	4 km	103 ms
SF7	5470 bps	2 km	61 ms

Datagramm

- Es werden kurze Datenpakete versendet
- Jeder kann empfangen und weiterleiten
- Empfang nicht gesichert
- Zähler für Erkennung von Paketverlust oder Doppelung
- Höhere Schichten sorgen für Datenintegrität
- Nach Versand sind zwei Zeitfenster für Rückkanal offen
- Sender legt sich dann wieder schlafen
- Kein Dauerempfang

Geräteklassen

- Es gibt drei Geräteklassen
- Bisher nur Klasse A betrachtet



Netzwerk

- Bisher nur Funktechnik beschrieben
- Diese wird „LoRa“ genannt
- Ein Netzwerk, das „LoRa“ benutzt, heißt „LoRaWAN“
- Jeder darf damit sein eigenes Netzwerk aufbauen
- Es gibt aber auch ein freies Netzwerk mit „LoRaWAN“
- Das „The Things Network“ (TTN)
- Teilnahme gratis
- Bonus: Verschlüsselung eingebaut

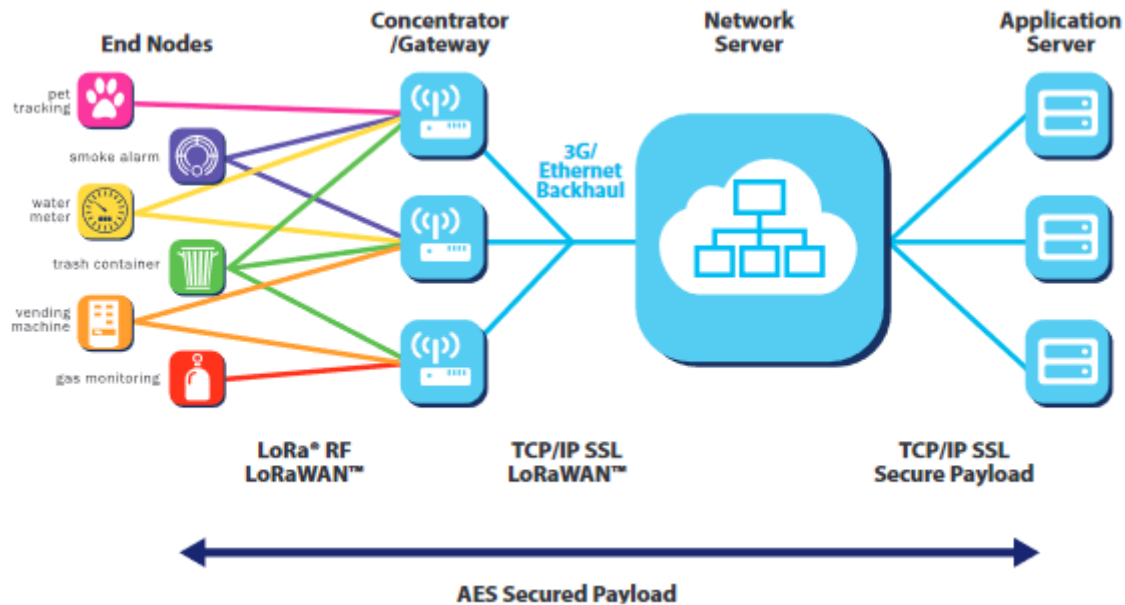
Architektur TTN

- Das IoT-Gerät braucht ein Gateway in Reichweite
- Dieses funkt nicht nur
- Es muss am Internet hängen
- Das Gateway kommuniziert mit einem NetWork-Server
- Dort kann man Daten sehen
- Möglichkeit zur Weiterleitung an einen Application Server
- Dieser kann Daten sammeln (Datenbank)
- Oder weitere Aktionen auslösen (SMS, E-Mail, Alarm...)

Netzwerktechnologie

Architektur TTN

- Schematische Darstellung ([What is LoRaWAN])



Datenportale

- Daten aus TTN können weitergeleitet werden
- Zur Visualisierung
- Zum Auslösen weiterer Aktionen
- Portale:
 - MyDevices
 - OpenSensors
 - IFTTT Maker
 - ...

Verschlüsselung

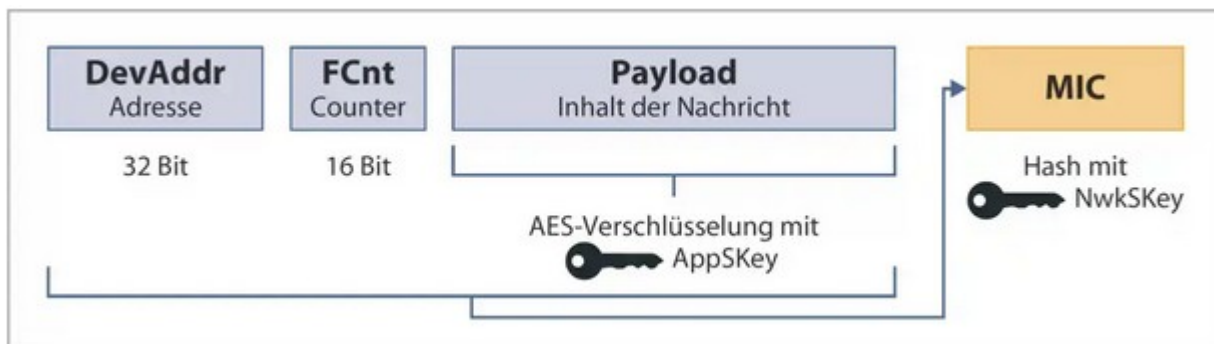
Verschlüsselte Kommunikation

- TLS ist zu aufwändig
- Würde TCP/IP voraussetzen
- Zu viel Energieverbrauch
- Verschlüsselung auf Datagrammebene
- Symmetrische Kryptographie mit AES

Verschlüsselung

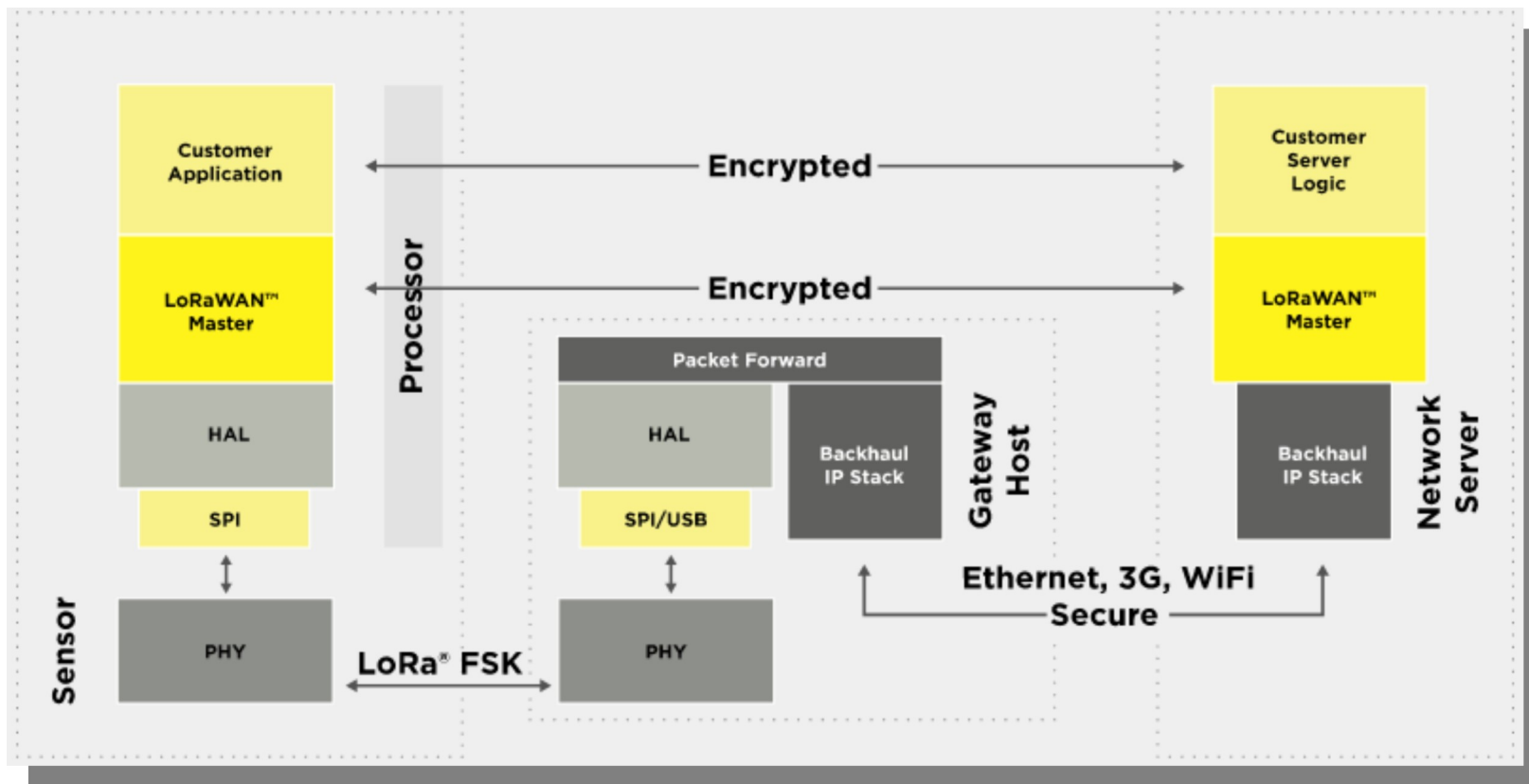
Verschlüsselte Kommunikation

- Datagramme werden unterschrieben (Authentizität)
- Ganzes Paket wird verschlüsselt (AES)
- Das Gateway kann nicht mitlesen
- Erst auf dem Server wird entschlüsselt



Verschlüsselung

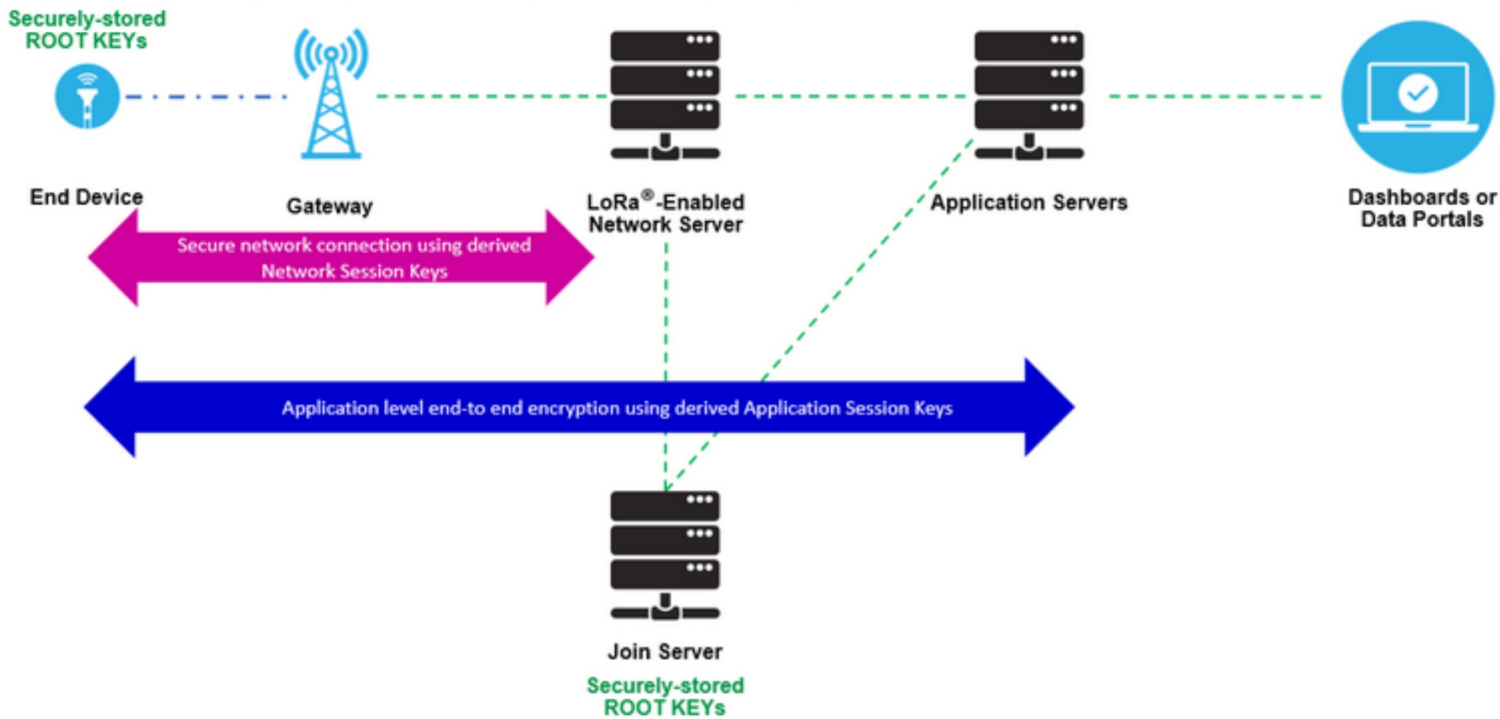
Verschlüsselte Kommunikation laut LoRa Alliance



Verschlüsselung

Verschlüsselte Kommunikation laut LoRa Alliance

- Verschlüsselung und benutzte Schlüssel



Praxis – Inbetriebnahme eines Geräts

Benutztes Gerät

- Dragino LDS01 Türsensor
- Reed Relais / Magnet
- Kosten: Ca. 18 €
- Gehäuse und Schlüssel:



Praxis – Inbetriebnahme eines Geräts

Benutztes Gerät

- Innenleben ohne Lithiumbatterie CR2032
- Platine:



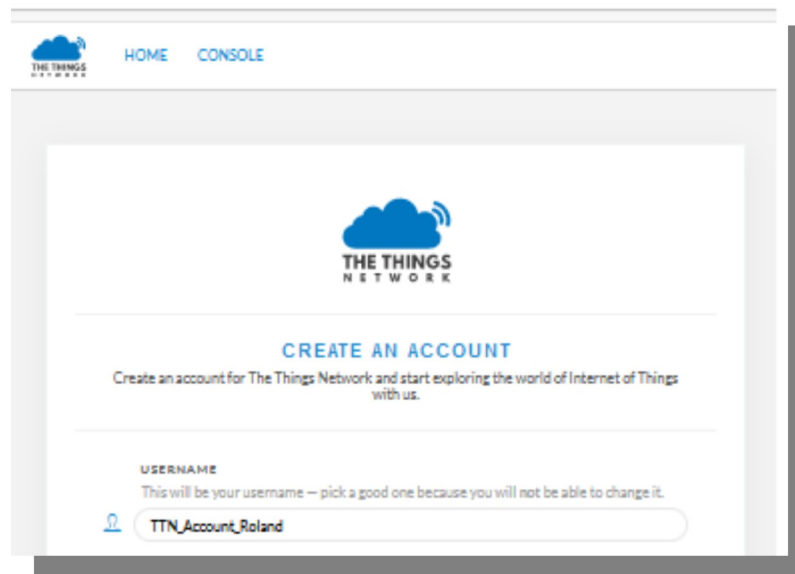
Praxis – Inbetriebnahme eines Geräts

Konto anlegen bei TTN

- <https://www.thethingsnetwork.org>
- Dort Button: „Sign Up“
- Name des Kontos muss im gesamten TTN eindeutig sein
- Man braucht eine E-Mailadresse für die Bestätigungsnachricht
- Und natürlich ein vernünftiges Passwort...

Konto anlegen

- Neuanlage



Bestätigungsnachricht

EMAIL ADDRESS
You will receive a confirmation email, as well as occasional account related emails. If this email address is managed by a third party (such as for corporate email addresses), this third party might block emails coming from The Things Network. This email address is not public.

PASSWORD
Use at least 6 characters.

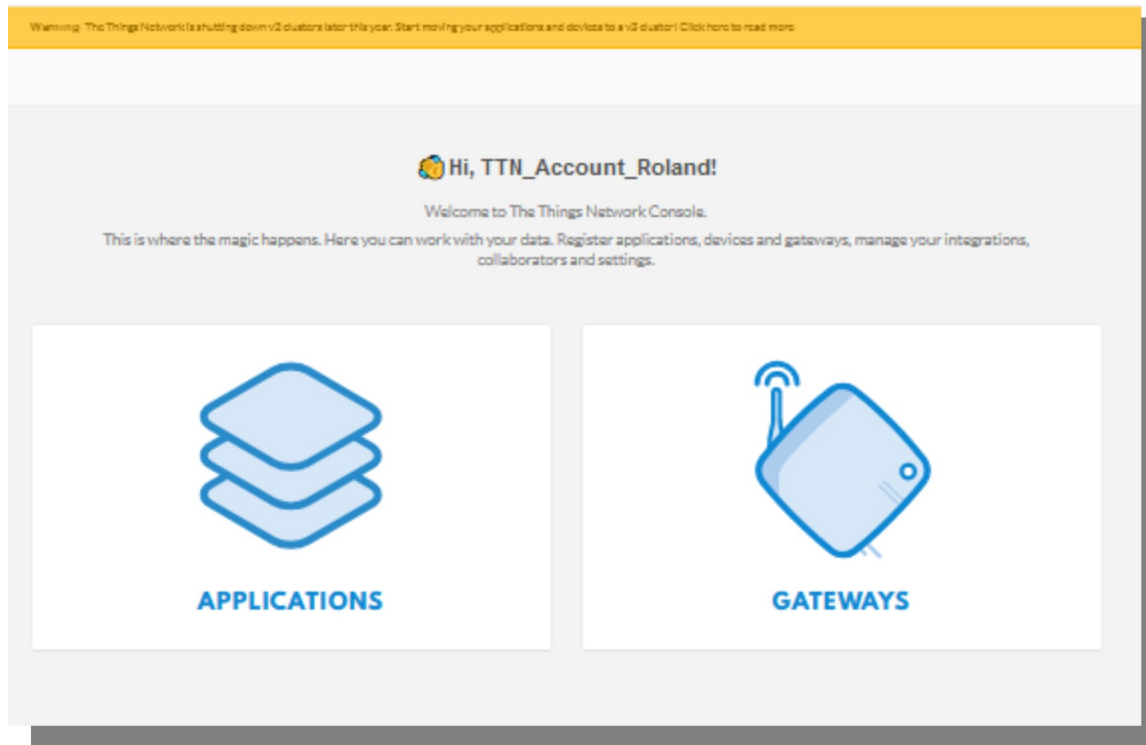
NEWSLETTER
 Subscribe to the newsletter.

By registering an account you agree to our [Terms and Conditions](#) and [Privacy Policy](#).

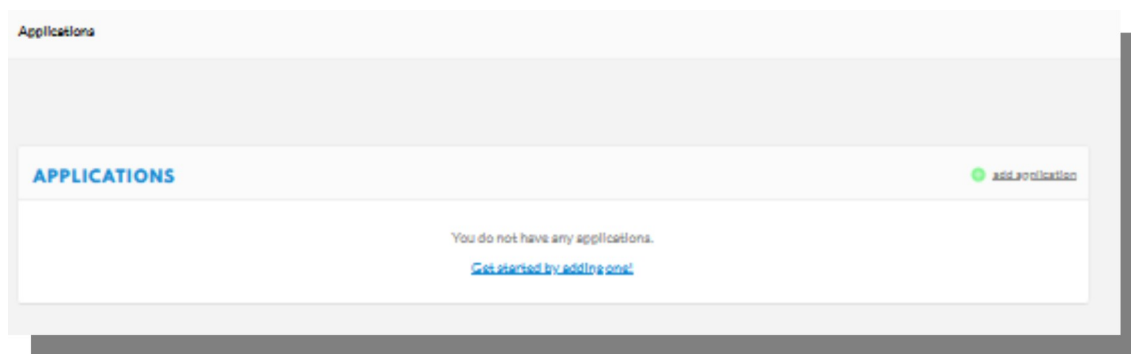
Already have an account? [Log in](#)

Konto angelegt

- Auswahl Applikation/Gateway



Applikation anlegen






Applikation anlegen

Applications > Add Application

ADD APPLICATION

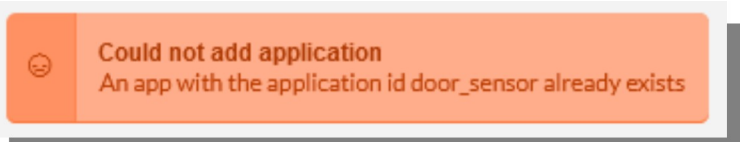
Application ID
The unique identifier of your application on the network

 
Description
A human readable description of your new app 
Application EUI
An application EUI will be issued for The Things Network block for convenience, you can add your own in the application settings page.
Handler registration
Select the handler you want to register this application to 

Cancel

Applikation anlegen

- Fallstrick:
- Auch der Name der Applikation muss im gesamten TTN eindeutig sein
- „door_sensor“ war schon angelegt / Weitere Regeln.



Application ID

The unique identifier of your application on the network

✘ Application ID can only exist of lowercase alphanumeric characters, nonconsecutive - and _ and it cannot start or end with a - or a _

Applikation anlegen

- Applikation verwaltet Geräte und Daten

The screenshot shows a web interface for managing TTN applications. The breadcrumb path is 'Applications > ttn_account_roland_door_sensor'. A navigation bar contains tabs for 'Overview', 'Devices', 'Payload Formats', 'Integrations', 'Data', and 'Settings'. The 'Overview' tab is active, displaying the 'APPLICATION OVERVIEW' section. This section includes a 'documentation' link, an 'Application ID' field with the value 'ttn_account_roland_door_sensor', a 'Description' of 'Mein erster TTN-Test', a 'Created' timestamp of '31 seconds ago', and a 'Handler' of 'ttn-handler-eu (current handler)'.

Applications > ttn_account_roland_door_sensor

Overview Devices Payload Formats Integrations Data Settings

APPLICATION OVERVIEW

[documentation](#)

Application ID ttn_account_roland_door_sensor

Description Mein erster TTN-Test

Created 31 seconds ago

Handler ttn-handler-eu (current handler)

Praxis

Applikation anlegen / EUI

- Eine wird automatisch vergeben / Kann mehrere geben

The screenshot shows a web interface with two main sections: 'APPLICATION EUIS' and 'DEVICES'. The 'APPLICATION EUIS' section has a search bar containing the hexadecimal string '70 B3 D5 7E D0 03 EC 63' and a 'manage euis' link. The 'DEVICES' section has a 'register device' button, a 'manage devices' link, and a message indicating '0 registered devices' with a device icon.

Praxis

Gerät zur Applikation hinzufügen

- „Manage Devices“
- Gerätenamen nur innerhalb der Applikation eindeutig

Applications > ttn_account_roland_door_sensor > Devices

Overview **Devices** Payload Formats Integrations Data Settings

REGISTER DEVICE [bulk import devices](#)

Device ID
This is the unique identifier for the device in this app. The device ID will be immutable.

door_sensor

Praxis

Gerät zur Applikation hinzufügen

- „Device EUI“ eintragen (wird mitgeliefert, wie MAC-Adr.)

Device EUI
The device EUI is the unique identifier for this device on the network. You can change the EUI later.

⌵ A8 40 41 E9 51 82 5A 17 ✔ 8 bytes

App Key
The App Key will be used to secure the communication between you device and the network.

✎ this field will be generated

App EUI

70 B3 D5 7E D0 03 EC 63 ⌵

Cancel Register

Gerät angelegt

- Aktivierung „Over The Air“

The screenshot shows a web interface for configuring a device. The breadcrumb navigation at the top reads: Applications > ttn_account_roland_door_sensor > Devices > door_sensor. On the right side, there are three tabs: Overview (selected), Data, and Settings. The main content area is titled 'DEVICE OVERVIEW' and displays the following configuration details:

- Application ID: ttn_account_roland_door_sensor
- Device ID: door_sensor
- Activation Method: OTAA

Gerät angelegt

- Anpassung „Application EUI“, wird auch mitgeliefert

The screenshot displays a configuration interface for a network device. It features three main input fields, each with a copy icon on the right:

- Device EUI:** A text input field containing the hexadecimal value `A8 40 41 E9 51 82 5A 17`.
- Application EUI:** A text input field containing the hexadecimal value `70 B3 D5 7E D0 03 EC 63`.
- App Key:** A text input field containing a series of dots, indicating a hidden or masked value.

Below these fields, the **Status** is shown as `never seen` with a red dot. At the bottom, there are two counters: **Frames up 0** with a [reset frame counters](#) link, and **Frames down 0**.

Gerät angelegt

- Anpassung „Application EUI“ / Hinzufügen


The screenshot shows a web interface for managing applications. The breadcrumb navigation is "Applications > ttn_account_roland_door_sensor > Settings". The "Settings" tab is active, with other tabs for "Overview", "Devices", "Payload Formats", "Integrations", and "Data".

On the left, the "APP SETTINGS" sidebar is visible with the following menu items: "General", "EUIs" (highlighted), "Collaborators", and "Access Keys".

The main content area shows the "EUIS" section. It contains a single EUI entry with the address "70 B3 D5 7E D0 03 EC 63" and a trash icon. To the right of the EUI list, there are two buttons: a blue "+ add EUI" button and a red "- remove" button.

Gerät angelegt

- Anpassung „Application EUI“ / Hinzugefügt





Applications >  ttn_account_roland_door_sensor > Settings

Overview Devices Payload Formats Integrations Data **Settings**

APP SETTINGS

- General
- EUIs**
- Collaborators
- Access Keys

EUIS + add EUI

70 B3 D5 7E D0 03 EC 63		 remove
A0 00 00 00 00 00 01 07		 remove

Gerät angelegt

- Anpassung „Application EUI“

SETTINGS

Description
A human-readable description of the device

Dragino door sensor ✓

Device EUI
The serial number of your radio module, similar to a MAC address

✕ A8 40 41 E9 51 82 5A 17 ✓ 8 bytes

Application EUI

70 B3D5 7E D003 EC 63 ⇅

70 B3D5 7E D003 EC 63

A0 00 00 00 00 00 01 07

OTAA ABP

Gerät angelegt

- Kommunikationsversuch aus dem Keller

The screenshot shows a web-based network monitoring interface. At the top right, there are three tabs: 'Overview', 'Data' (which is active), and 'Settings'. Below the tabs is a section titled 'APPLICATION DATA' with a 'pause' button and a 'clear' button. Underneath, there are five filter buttons: 'uplink', 'downlink', 'activation', 'ack', and 'error'. Below the filters is a table with columns for 'time', 'counter', and 'port'. The table contains two rows of data, each starting with a lightning bolt icon. The first row shows a timestamp of 14:53:24 and the second row shows 14:52:51. Both rows have the same device addresses: dev addr: 26 01 46 26, app eui: A000 00 00 00 00 01 07, and dev eui: A8 40 41 E9 51 82 5A 17.

time	counter	port
⚡ 14:53:24		dev addr: 26 01 46 26 app eui: A000 00 00 00 00 01 07 dev eui: A8 40 41 E9 51 82 5A 17
⚡ 14:52:51		dev addr: 26 01 40 DF app eui: A000 00 00 00 00 01 07 dev eui: A8 40 41 E9 51 82 5A 17

Kommunikation

- Fahrt zum Gateway → Payload!

Applications > ttn_account_roland_door_sensor > Devices > door_sensor > Data

Overview Data Settings

APPLICATION DATA

|| pause 🗑️ clear

Filters: uplink downlink activation ack error

	time	counter	port	
▲	16:11:27	8	10	payload: 8B 28 01 00 00 04 00 00 01
▲	16:07:41	7	10	payload: 0B 28 01 00 00 03 00 00 01

Kommunikation

- Nur numerisch
- Auch Metadaten

time counter port

Payload

8B 28 01 00 00 00 00 00 00

Fields

no fields

Metadata

```
{
  "time": "2021-03-05T15:04:10.715761701Z",
  "frequency": 867.5,
  "modulation": "LORA",
  "data_rate": "SF12BW125",
  "coding_rate": "4/5",
  "gateways": [
    {
      "gtw_id": "eui-7276ff000b031d33",
      "timestamp": 2704520556,
      "time": "",
      "channel": 2,
      "rssi": -87,
      "snr": 8.8
    }
  ]
}
```

Estimated Airtime

991.232 ms

Kommunikation

- „Decoder“ vom Hersteller

```
function Decoder(bytes, port) {
  // Decode an uplink message from a buffer
  // (array) of bytes to an object of fields.
  var value=(bytes[0]<<8 | bytes[1])&0x3FFF;
  var bat=value/1000;//Battery,units:V

  var door_open_status=bytes[0]&0x80?1:0;//1:open,0:close
  var water_leak_status=bytes[0]&0x40?1:0;

  var mod=bytes[2];
  var alarm=bytes[9]&0x01;

  if(mod==1){
    var open_times=bytes[3]<<16 | bytes[4]<<8 | bytes[5];
    var open_duration=bytes[6]<<16 | bytes[7]<<8 | bytes[8];//units:min
    return {
      BAT_V:bat,
      MOD:mod,
      DOOR_OPEN_STATUS:door_open_status,
      DOOR_OPEN_TIMES:open_times,
      LAST_DOOR_OPEN_DURATION:open_duration,
      ALARM:alarm
    };
  }
  else if(mod==2)
  {
    var leak_times=bytes[3]<<16 | bytes[4]<<8 | bytes[5];
    var leak_duration=bytes[6]<<16 | bytes[7]<<8 | bytes[8];//units:min
    return {
      BAT_V:bat,
      MOD:mod,
      WATER_LEAK_STATUS:water_leak_status,
      WATER_LEAK_TIMES:leak_times,
      LAST_WATER_LEAK_DURATION:leak_duration
    };
  }
  else if(mod==3)
  {
    return {
      BAT_V:bat,
      MOD:mod,
      DOOR_OPEN_STATUS:door_open_status,
      WATER_LEAK_STATUS:water_leak_status,
      ALARM:alarm
    };
  }
  else{
    return {
      BAT_V:bat,
      MOD:mod,
    };
  }
}
```

Kommunikation

- In der Applikation hinterlegen

Applications > ttn_account_roland_door_sensor > Payload Formats

decoder

converter

validator

encoder

[remove decoder](#)

```
42     DOOR_OPEN_STATUS:door_open_status,  
43     WATER_LEAK_STATUS:water_leak_status,  
44     ALARM:alarm  
45   };  
46 }  
47 else{  
48   return {  
49     BAT_V:bat,  
50     MOD:mod,  
51   };  
52 }  
53 }  
54 }
```

decoder has unsaved changes [undo changes](#)

Kommunikation

- Testen

Payload

8B 28 01 00 00 04 00 00 01 9 bytes 1 Test

```
{  
  "ALARM": 0,  
  "BAT_V": 2.856,  
  "DOOR_OPEN_STATUS": 1,  
  "DOOR_OPEN_TIMES": 4,  
  "LAST_DOOR_OPEN_DURATION": 1,  
  "MOD": 1  
}
```

Payload was valid

Cancel save payload functions

Kommunikation

- Ab dann direkt in der Oberfläche

time	counter	port	
▲ 16:34:33	19	10	payload: 8B 40 01 00 00 0B 00 00 00 ALARM: 0 BAT_V: 2.88 DOOR_OPEN_STATUS: 1 DOOR_OPEN_TI

Uplink

Payload

8B 40 01 00 00 0B 00 00 00 

Fields

```
{
  "ALARM": 0,
  "BAT_V": 2.88,
  "DOOR_OPEN_STATUS": 1,
  "DOOR_OPEN_TIMES": 11,
  "LAST_DOOR_OPEN_DURATION": 0,
  "MOD": 1
}
```

Weitere Aktionen

- Verknüpfung mit weiteren Servern
- Datenbank
- Verbindung mit „Smart Home“
- ...

Weitere Geräte

Delock 12591

- Chipsatz: Semtech SX1276
- Serielle Schnittstelle
- Anschluß an „jeden“ Mikrokontroller
- Braucht Antenne
- SMA-Anschluss



Weitere Geräte

Raspberry Pi Shield LoRa

- Enthält Semtech SX1262
- Erweiterung für Raspberry Pi
- Antenne mitgeliefert
- Man kann ohne Raspi direkt per USB zugreifen
- USB → COM Schnittstelle
- Tests via PC möglich
- Raspi ist schnell genug, ein Gateway zu bauen



Weitere Geräte

Arduino MKR 1310

- Arduino Mikrokontroller Cortex M0
- Platine enthält LoRa-Hardware
- Volle Integration in Arduino-IDE
- Entwicklungsumgebung enthält zahlreiche Bibliotheken
- Viele Programmierbeispiele
- Auf Stromsparen getrimmt
- Akkuanschluss integriert
- Braucht Antenne



Weitere Geräte

Raspberry Pi GPS Tracker Shield

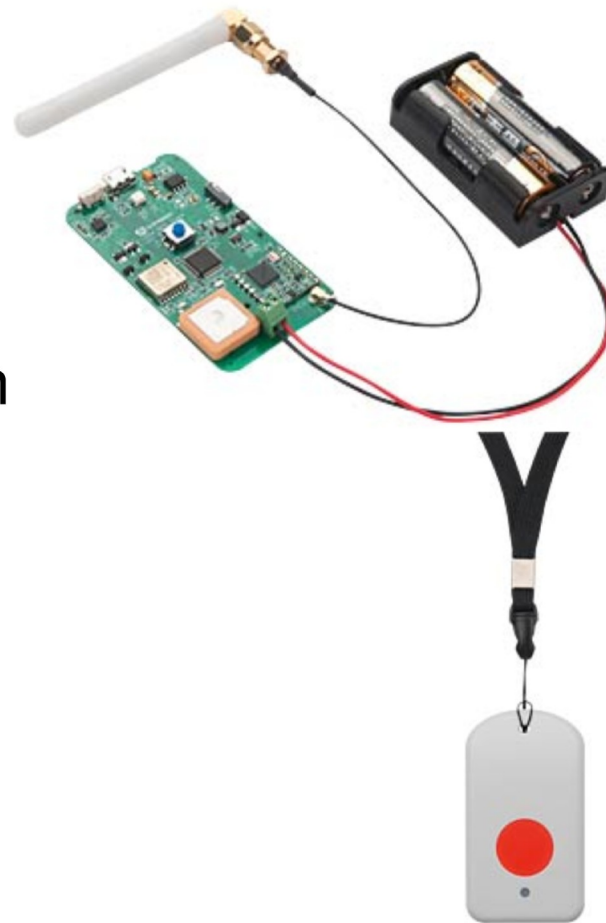
- Enthält GPS-Antenne
- Braucht LoRaWAN-Antenne
- GPS-Tracking ohne Mobilfunk
- Gut dokumentiert
- [GPS-HAT]



Weitere Geräte

Standalone GPS Tracker

- Braucht keinen Mikrokontroller
- Open Source
- Beschleunigungsmesser 9 Achsen
- Variante Schlüsselanhänger



Zusammenfassung

Proof Of Concept

- LoRaWAN funktioniert und ist aus der Box betriebsbereit
- Alle Anforderungen sind erfüllt
- Netzabdeckung vorhanden
- Weite Entfernung ist möglich
- Geräte sind verfügbar und relativ günstig
- Anbindung an viele Mikrokontroller
- Weites Feld an weiteren Projekten

Quellen

- Wikipedia: <https://www.wikipedia.org>
- LoRa Alliance: <https://lora-alliance.org>
- The Things Network: <https://www.thethingsnetwork.org>
- TÜV:
https://www.tuv.com/media/corporate/products_1/electronic_components_and_lasers/TUeV_Rheinland_Overview_LoRa_and_LoRaWANtmp.pdf

Quellen

- Regional Parameters: https://lora-alliance.org/wp-content/uploads/2019/11/rp_2-1.0.0_final_release.pdf
- Heise LoRaWAN:
<https://www.heise.de/hintergrund/LoRaWAN-Funknetz-fuer-kleine-Datenmengen-und-hohe-Reichweiten-4408158.html?seite=all>
- What is LoRaWAN:
<https://lora-alliance.org/wp-content/uploads/2020/11/what-is-lorawan.pdf>

Quellen

- About LoRaWan: <https://lora-alliance.org/about-lorawan/>
- SEMTECH:
<https://lora-developers.semtech.com/library/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>
- ARD MKR 1310:
<https://www.arduino.cc/en/Guide/MKRWAN1310/>
- GPS-HAT:
http://wiki.dragino.com/index.php?title=Lora/GPS_HAT

Quellen

- Dragino Door Sensor Manual:
https://www.dragino.com/downloads/downloads/LoRa_End_Node/LDS01/LDS01_LoRaWAN_Door_Sensor_UserManual_v1.3.0.pdf

Vielen Dank!