



Payload Kurzbeschreibung

Modbus- LoRaWAN- BOX



V1.1

Juni 2023

Inhalt

1. Einleitung	4
1.1. LoRaWAN-Netzwerkserver	4
1.2. LoRaWAN-Kommunikationsmodul	4
2. Installation und Inbetriebnahme der Modbus-LoRaWAN-Box	5
2.1. Anschließen des Gerätes	5
2.2. Beispiel-Integration ChirpStack	7
2.2.1. Anlegen eines Service-Profiles	8
2.2.2. Anlegen eines Device-Profiles	8
2.2.3. Anlegen der Modbus-LoRaWAN-Box	10
2.3. Wartung	12
2.4. Bedienung	12
3. Funktionsablauf der Modbus-LoRaWAN-Box	13
3.1. Joining Vorgang	14
3.2. Kontrolle der Kommunikationsverbindung	14
3.3. Messdatenerfassung	14
3.4. Periodische Reports: Uplink-Nachrichten	15
3.4.1. Power-On Uplink-Paket	15
3.4.2. Reguläres Uplink-Paket	16
3.4.3. Sonderfälle Uplink-Paket	18
3.4.4. Hinweise	20
3.5. Alarm Reports	21
3.6. Einstellungen via Downlink-Nachrichten	22
3.6.1. Einstellen der Periodendauer	22
3.6.2. Einstellen der Modbus-Abfragen	24
3.6.3. Einstellung des Übertragungsmodus	27
3.6.4. Einstellen der LoRaWAN-Datenrate	29
3.6.5. Einstellen der Baudrate	30
3.6.6. Einstellen weiterer Schnittstellenparameter	31
3.6.7. Manuelles Re-Joining	33
3.6.8. Software-Reset	34
3.6.9. Einstellen der Alarm-Überwachung	35
3.6.10. Einstellen der Alarm-Register	37
3.6.11. Factory Reset (Werkseinstellung)	40

4.	Manuelle Registerabfragen via LoRaWAN	41
4.1.	Beispiele	42
4.2.	Fehlermeldungen/Exceptions	43

1. Einleitung

Bei der Modbus-LoRaWAN-Box handelt es sich um ein Modbus RTU ↔ LoRaWAN-Gateway, das Registerwerte von angeschlossenen Modbus RS-485-Teilnehmern auslesen und via LoRaWAN übertragen kann. Dabei fungiert die Modbus-LoRaWAN-Box als Modbus-Master im Feldbussystem und besitzt folgende Eigenschaften:

- Das Gerät ist kompatibel zur LoRaWAN-Spezifikation $\geq 1.0.3$ und arbeitet als Klasse C-Gerät.
- Eine Einstellung / Parametrierung der zu sendenden Daten erfolgt ausschließlich über LoRaWAN-Downlink-Pakete.
- Die Modbus-LoRaWAN-Box optimiert in der Werkseinstellung seine Sendeparameter (Datenrate, Spreizfaktor, Sendeleistung, ...) eigenständig (adaptive Datenrate).
- Die Modbus-LoRaWAN-Box überprüft in regelmäßigen Zeitabständen, ob sie noch mit dem LoRaWAN-Netzwerkserver verbunden ist. Besteht keine Verbindung zum Netzwerk, erfolgt automatisch ein erneuter Verbindungsaufbau (Re-Joining-Prozess).
- Die Modbus-LoRaWAN-Box ist werkseitig für den Betrieb in öffentlichen (Public) LoRaWAN-Netzwerken konfiguriert.

1.1. LoRaWAN-Netzwerkserver

Der Betrieb der LoRaWAN-Netzwerkinfrastruktur (Gateway, Netzwerk- und Applikations-Server) obliegt dem Endkunden. Auf Nachfrage können wir Sie bei der Installation und Einrichtung der gewählten Lösung unterstützen.

Die Modbus-LoRaWAN-Box kann mit marktüblichen Modbus-RTU-Geräten verbunden und betrieben werden. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Anleitung ist die Modbus-LoRaWAN-Box mit den frei verfügbaren Netzwerkserver-Softwares **Chirpstack** und **TheThingsNetwork** (TTN) getestet worden. Für beide Plattformen kann auf Nachfrage der entsprechende Payload-Decoder zur Verfügung gestellt werden.

1.2. LoRaWAN-Kommunikationsmodul

Das interne Kommunikationsmodul des Gerätes basiert auf dem LoRaWAN-Standard. Dadurch werden Daten von angeschlossenen Modbus-Teilnehmern ausgelesen und über große Distanzen auch unter schwierigen Übertragungsbedingungen zuverlässig gesendet.

Um eine stabile und performante Kommunikationsverbindung zu gewährleisten, werden im Kommunikationsmodul fortwährend die Sende- und Empfangsparameter bezüglich der aktuell vorhandenen Kanalbedingungen optimiert (adaptive Datenrate). Das Kommunikationsmodul besitzt folgende Übertragungsparameter:

- EU-Frequenzband: 863 – 870 MHz
- LoRaWAN-Gerätekategorie: C
 - Bidirektionale Kommunikation
 - LoRaWAN-Schnittstelle ist zu jeder Zeit empfangsbereit (Klasse C)
 - Die Sendeleistung im EU-Frequenzband ist limitiert auf 14 dBm

2. Installation und Inbetriebnahme der Modbus-LoRaWAN-Box

2.1. Anschließen des Gerätes

Das Gerät ist mit einem galvanisch getrennten Schaltnetzteil ausgestattet, das die Modbus-LoRaWAN-Box direkt mit 230V AC, 50 Hz betreibt. Ein externes Netzteil ist dadurch überflüssig. Weiterhin handelt es sich um ein Schutzklasse 2 Gerät (Schutz durch Schutzisolierung). Deshalb ist kein Schutzleiter (PE) am Gerät erforderlich. Verbinden Sie deshalb die Phase und den Neutralleiter der externen Wechselspannungsquelle mit den Anschlüssen 1 und 2 der Modbus-LoRaWAN-Box. Bitte sorgen Sie für einen externen Leitungsschutz in Form eines Leitungsschutzschalters oder einer Schmelzsicherung. Dafür eignen sich beispielsweise Leitungsschutzschalter mit B oder C-Charakteristik mit mindestens 6A bzw. 2A (B6A oder C2A).

Die externen Feldbusteilnehmer werden an die Anschlüsse 4 und 5 der Modbus-LoRaWAN-Box angeschlossen:

- Anschluss 4: Modbus A (nicht invertierende Datenleitung, Data +)
- Anschluss 5: Modbus B (invertierende Datenleitung, Data -)

Bitte beachten Sie, dass die Bezeichnungen A und B der Modbus Datenleitungen bei verschiedenen Herstellern variieren können und deshalb nicht eindeutig sind. Orientieren Sie sich deshalb an den Bezeichnungen „nicht invertierende Datenleitung (Data +)“ und „invertierende Datenleitung (Data -)“.

Bei einem Modbus RTU-System sind stets alle nicht invertierenden Datenleitungen (Data +), sowie alle invertierenden Datenleitungen (Data -) aller Feldbusteilnehmer miteinander zu verbinden!

Da die Modbus-LoRaWAN-Box als Modbus-Master im Feldbussystem fungiert, ist diese mit einem internen 120 Ohm Widerstand terminiert. Die Schnittstellenparameter des Feldbussystem sind werkseitig wie folgt eingestellt:

- Datenrate: 19200 bit/s
- Anzahl der Datenbits: 8
- Anzahl der Stoppbits: 1
- Parität: Keine (None)

Alle weiteren Anschlüsse am Gerät sind nicht belegt und haben keine Funktion!

Bevor Sie das Gerät mit Spannung versorgen, achten Sie bitte darauf, dass die externe Antenne an den SMA-Antennenanschluss des Gerätes aufgeschraubt ist. **Ein Betrieb ohne externe Antenne kann den internen HF-Verstärker des Gerätes beschädigen!**

Jede Modbus-LoRaWAN-Box ist werkseitig wie folgt konfiguriert:

- Übertragungsmodus: Over-The-Air-Activation (OTAA)
- DEV_EUI (00:80:E1:FA:**Seriennummer des Gerätes**)
- OTA_AppKey (2B:7E:15:16:28:AE:D2:A6:AB:F7:15:88:**Seriennummer des Gerätes**)
- OTA_AppEUI (01:01:01:01:01:01:01)

Wie oben beschrieben, wird die DEV_EUI und der OTA_AppKey mit der Seriennummer des Gerätes erweitert.

Die Registrierung des Gerätes am LoRaWAN-Netzwerkserver erfolgt ausschließlich über die Aktivierungsmethode „Over-The-Air-Activation“ (OTAA). Aus Sicherheitsgründen wird in der aktuellen Firmware-Version eine Aktivierung via „Activation-by-Personalization“ (ABP) nicht unterstützt!

Wie bereits beschrieben, benötigen Sie zur Aktivierung via OTAA folgende Netzwerkschlüssel:

- 64-Bit Unique End-device identifier (DEV_EUI)
- 128-Bit Over-the-Air Application-Key (OTA_AppKey)
- Optional: 64-Bit Unique Application EUI (OTA_AppEUI)

Die ersten beiden Netzwerkschlüssel (DEV_EUI, OTA_AppKey) setzen sich jeweils aus einem statischen Teil und der Seriennummer des Gerätes zusammen. Dabei ist der statische Teil sowohl bei der DEV_EUI als auch beim OTA_AppKey identisch. Die Darstellung erfolgt im Hexadezimal-Zahlensystem, wobei das höchstwertige Byte (MSB) zuerst dargestellt wird:

- DEV_EUI: 00:80:E1:FA:**Seriennummer**
- OTA_AppKey: 2B:7E:15:16:28:AE:D2:A6:AB:F7:15:88:**Seriennummer**

Besitzt das Gerät beispielsweise die Seriennummer 00126287, dann sind folgende Netzwerkschlüssel zu verwenden:

- DEV_EUI: 00:80:E1:FA:00:12:62:87
- OTA_AppKey: 2B:7E:15:16:28:AE:D2:A6:AB:F7:15:88:00:12:62:87

Die OTA_AppEUI ist vom Hersteller/Anwender frei wählbar und soll die eigentliche Applikation charakterisieren. Die OTA_AppEUI (ab Version 1.1.x auch als OTA_JoinEUI bezeichnet), wurde in der Werkseinstellung wie folgt festgelegt:

- OTA_AppEUI: 01:01:01:01:01:01:01:01

Die 32-Bit Device Address (Dev_Addr) wird vom internen Prozessor zur Laufzeit erzeugt und wird für die Registrierung am LoRaWAN-Netzwerkserver nicht benötigt!

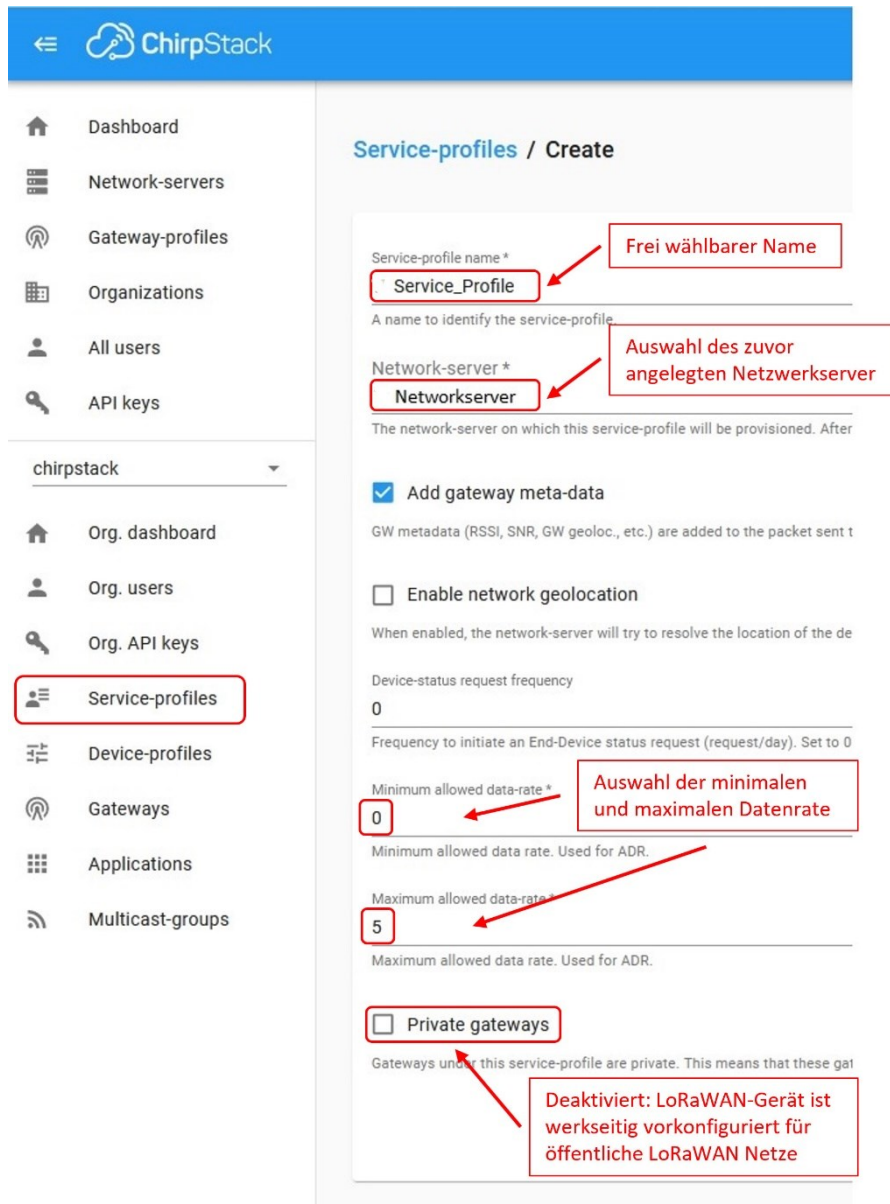
Hinweis :

- Überprüfen Sie beim Anschluss externer Feldbusteilnehmer stets die Schnittstellenparameter. Neben der Datenrate müssen auch die Anzahl der Daten- und Stoppbits, sowie die Parität übereinstimmen! Wie oben angegeben werden in der Werkseinstellung folgende Parameter verwendet : 19200 bit/s, 8 Datenbits, 1 Stoppbit, keine Parität
- Registrieren Sie die Modbus-LoRaWAN-Box zuerst am LoRaWAN-Netzwerkserver, bevor Sie diese in Betrieb nehmen. Bei dieser Vorgehensweise ist gewährleistet, dass kein unnötiger Datenverkehr in Form von Join-Requests gesendet werden muss.
- Es ist auch nach der Installation und Erstinbetriebnahme möglich, die Modbus-LoRaWAN-Box zu repositionieren. Solange die Distanz zum nächstgelegenen Gateway eingehalten wird, kann das Gerät mit dem Netzwerkserver kommunizieren (adaptive Datenrate).

2.2. Beispiel-Integration ChirpStack

Um die Modbus-LoRaWAN-Box am ChirpStack-Netzwerkserver anzulegen, sind folgende Schritte notwendig:

- Anlegen eines Service-Profiles
- Anlegen eines Device-Profiles
- Anlegen der Modbus-LoRaWAN-Box



The screenshot shows the ChirpStack web interface for creating a service profile. The left sidebar contains navigation options, with 'Service-profiles' highlighted. The main content area is titled 'Service-profiles / Create' and contains the following form fields:

- Service-profile name ***: A text input field containing 'Service_Profile'. A red box highlights this field with the annotation 'Frei wählbarer Name'.
- Network-server ***: A dropdown menu showing 'Networkserver'. A red box highlights this field with the annotation 'Auswahl des zuvor angelegten Netzwerkserver'.
- Add gateway meta-data**: A checked checkbox. Below it, text reads: 'GW metadata (RSSI, SNR, GW geoloc., etc.) are added to the packet sent t'.
- Enable network geolocation**: An unchecked checkbox. Below it, text reads: 'When enabled, the network-server will try to resolve the location of the de'.
- Device-status request frequency**: A text input field containing '0'. Below it, text reads: 'Frequency to initiate an End-Device status request (request/day). Set to 0'.
- Minimum allowed data-rate ***: A text input field containing '0'. A red box highlights this field with the annotation 'Auswahl der minimalen und maximalen Datenrate'. Below it, text reads: 'Minimum allowed data rate. Used for ADR.'
- Maximum allowed data-rate ***: A text input field containing '5'. A red box highlights this field with the annotation 'Auswahl der minimalen und maximalen Datenrate'. Below it, text reads: 'Maximum allowed data rate. Used for ADR.'
- Private gateways**: An unchecked checkbox. A red box highlights this field with the annotation 'Deaktiviert: LoRaWAN-Gerät ist werkseitig vorkonfiguriert für öffentliche LoRaWAN Netze'. Below it, text reads: 'Gateways under this service-profile are private. This means that these gat'.

Abbildung 1: Beispiel zum Anlegen eines Service-Profiles in ChirpStack

2.2.1. Anlegen eines Service-Profiles

Wie in der Abbildung 1 beispielhaft dargestellt, muss in ChirpStack ein Service-Profil erstellt werden. Hierzu wird ein vom Kunden frei wählbarer Name eines Profils eingetragen und der zuvor erstellte Netzwerkserver ausgewählt. Im Anschluss daran wird die minimale und maximale Datenrate der Modbus-LoRaWAN-Box festgelegt. Da das Gerät ab Werk mit adaptiver Datenrate vorkonfiguriert ist, beträgt die minimale Datenrate 0, wohingegen die maximale Datenrate 5 beträgt. Die Checkbox „Private Gateways“ darf in der Werkseinstellung nicht ausgewählt werden, da die Modbus-LoRaWAN-Box für öffentliche Netze konfiguriert ist. Das erstellte Service-Profil kann selbstverständlich für weitere, fremde LoRaWAN-Geräte verwendet werden.

2.2.2. Anlegen eines Device-Profiles

Im Anschluss wird ein Device-Profil angelegt, das die LoRaWAN-spezifischen Einstellungen der Endgeräte festlegt. Für die Modbus-LoRaWAN-Box wird zunächst ein frei wählbarer Name des Profils eingetragen, der zuvor angelegte Netzwerkserver ausgewählt und die LoRaWAN-Version (LoRaWAN MAC Version) festgelegt. Die von der Modbus-LoRaWAN-Box unterstützte LoRaWAN-Version ist derzeit 1.0.3 oder 1.0.4. Anschließend wählen Sie die für Europa festgelegte Regionalklasse A aus. Alle weiteren Parameter im Reiter „GENERAL“ können von den Default-Einstellungen von ChirpStack übernommen werden (siehe Abbildung 2).

The screenshot shows the ChirpStack web interface for creating a device profile. The left sidebar contains navigation options like Dashboard, Network-servers, Gateway-profiles, Organizations, All users, API keys, and Service-profiles. The main content area is titled 'Device-profiles / Create' and shows a form with several fields:

- Device-profile name ***: Set to 'Class_C'.
- Network-server ***: Set to 'Networkserver'.
- LoRaWAN MAC version ***: Set to '1.0.3'.
- LoRaWAN Regional Parameters revision ***: Set to 'A'.
- Uplink interval (seconds) ***: Set to '900'.

Red annotations with arrows point to these fields, providing additional context: 'Seite GENERAL', 'Frei wählbarer Name', 'Auswahl des zuvor angelegten Netzwerkserver', 'LoRaWAN Version 1.0.3 oder 1.0.4', 'LoRaWAN Regional-parameter A', and 'Zu erwartendes Uplink Intervall des LoRaWAN-Geräts (nur für Chirpstack relevant)'.

Abbildung 2: Beispiel zum Anlegen eines Device-Profiles im Reiter „GENERAL“ von ChirpStack

Auf der nächsten Seite (Tab) kann ausgewählt werden, ob sich die betreffenden LoRaWAN-Geräte via Activation-by-Personalization (ABP) oder via Over-The-Air-Activation (OTAA) am LoRaWAN-Netzwerkserver anmelden müssen. Bei der Modbus-LoRaWAN-Box wird ausschließlich der OTAA-Modus unterstützt. Deshalb muss dieser Betriebsmodus vom Anwender explizit ausgewählt werden (siehe Abbildung 3).

Im vorletzten Schritt muss im Reiter „Class-C“ die Checkbox ausgewählt /aktiviert werden, da die Modbus-LoRaWAN-Box als Klasse C Gerät betrieben wird (siehe Abbildung 4).

Auf der folgenden Seite „CODEC“ kann schließlich der auf Nachfrage zur Verfügung gestellte Codec zur Dekodierung des Payloads kopiert werden. Dadurch wird dem Anwender ermöglicht, die im Paket codierten Nutzdaten in eine „menschlich lesbare Struktur“ zu konvertieren.

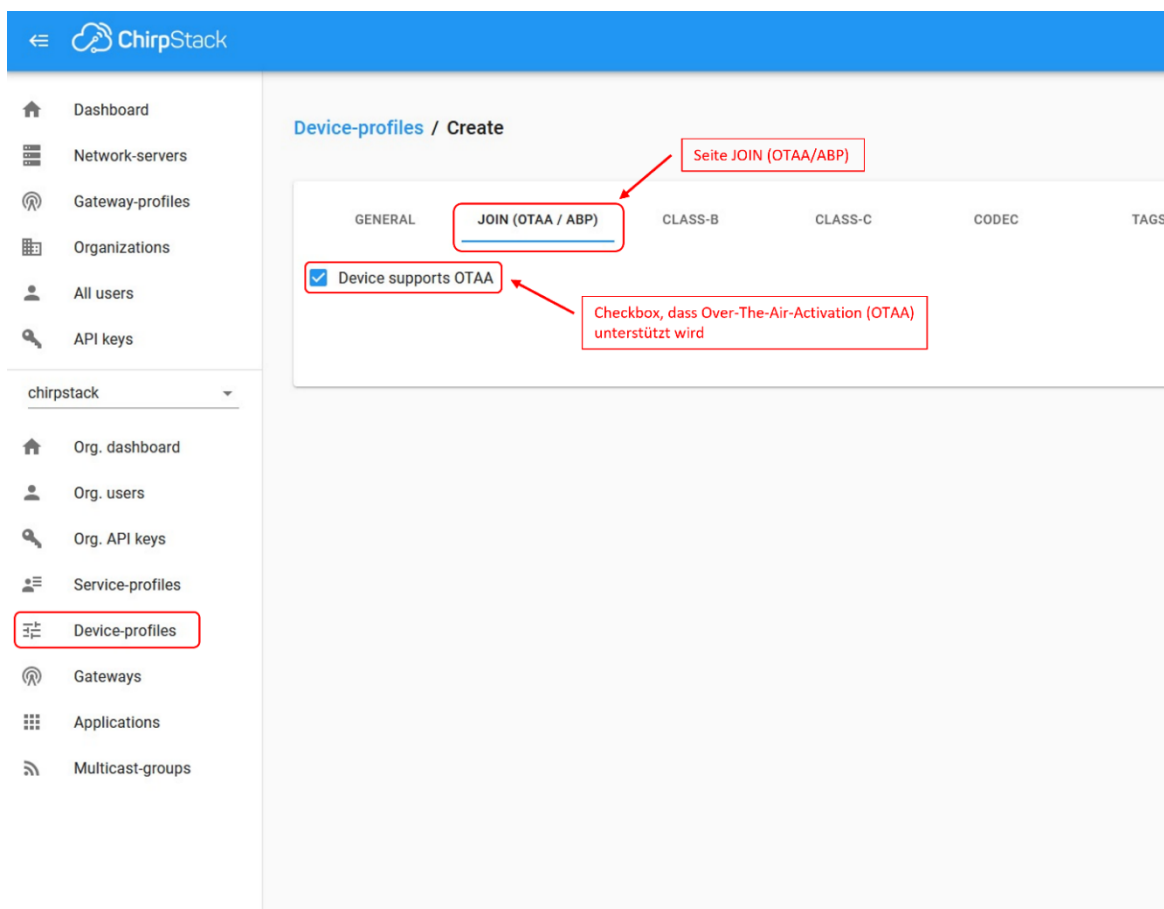


Abbildung 3: Beispiel zum Anlegen eines Device-Profiles im Reiter „JOIN (OTAA/ABP)“ von ChirpStack

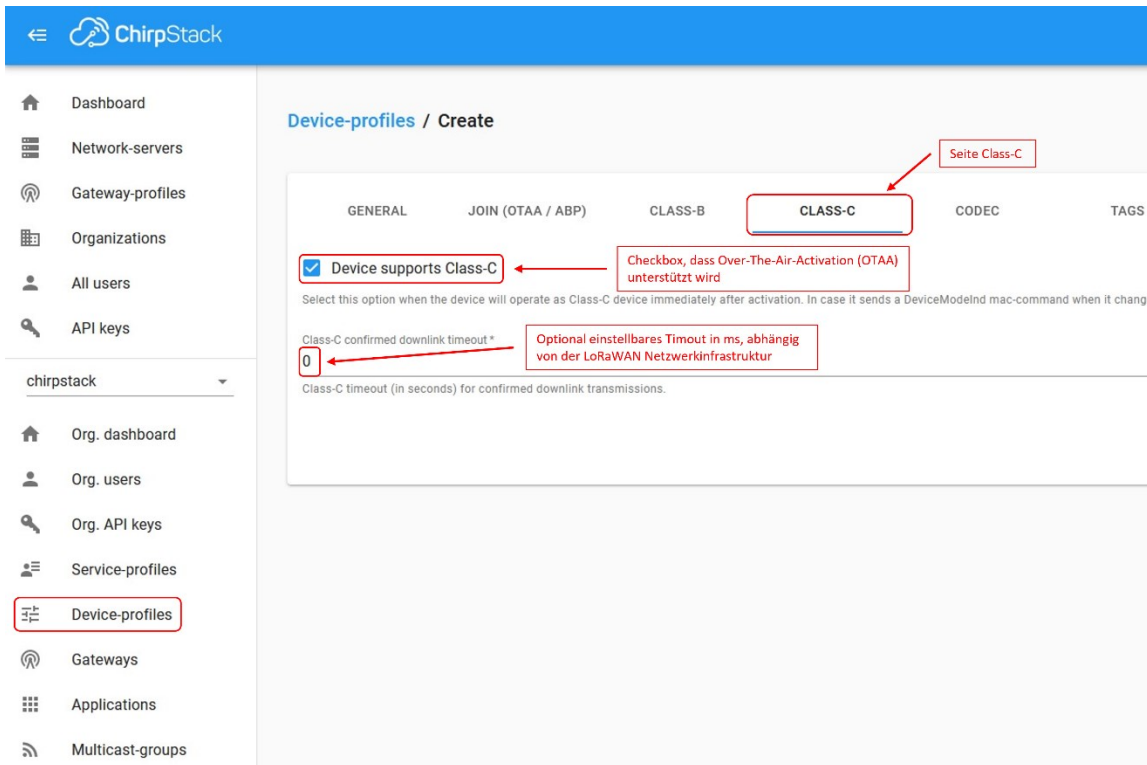


Abbildung 4: Beispiel zum Anlegen eines Device-Profiles im Reiter „CLASS-C“ von ChirpStack

2.2.3. Anlegen der Modbus-LoRaWAN-Box

Nachdem Sie das Service- und das Device-Profil angelegt haben, werden nun die Sensoren im LoRaWAN-Kundennetz registriert.

Dieser Vorgang entspricht dem Anlegen einer Applikation, weshalb im Hauptmenü von ChirpStack der Eintrag „Applications“ ausgewählt wird (siehe Abbildung 5). Nach Eingabe eines vom Anwender frei wählbaren Gerätenamens und Gerätebeschreibung, wird das zuvor angelegte Device-Profil ausgewählt und die Device EUI des betreffenden Gerätes eingegeben. Wie zu Beginn von Kapitel 2 beschrieben, setzt sich die DEV_EUI aus einem statischen Teil, gefolgt von der Seriennummer des Zählers zusammen.

Nach den Einträgen im Reiter „GENERAL“ der Applikation bestätigen Sie die Eingabe durch den Button „Create Device“ unten rechts. Anschließend öffnet sich ein neues Fenster, bei dem der OTA_AppKey eingegeben werden muss (siehe Abbildung 6).

Wie bei der zuvor eingetragenen DEV_EUI setzt sich der OTA-AppKey aus einem statischen Teil, gefolgt von der Seriennummer des Zählers zusammen.

Bitte beachten Sie, dass die Auswahl „MSB“ auf der rechten Seite aktiv ist, sodass das höchstwertige Byte zuerst eingetragen werden muss. Abschließend drücken Sie den Button „SET DEVICE KEYS“, um das Gerät final im System anzulegen.

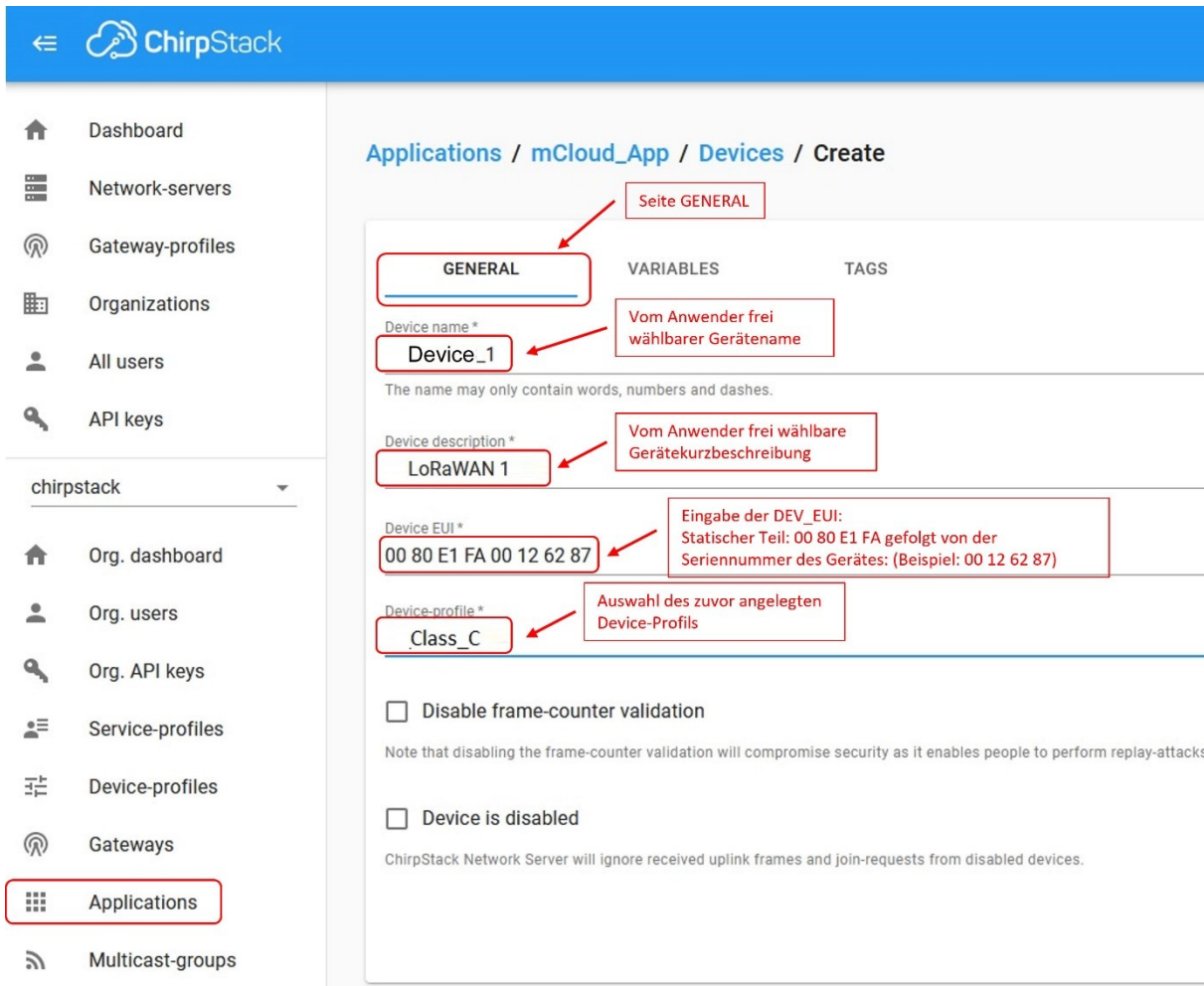


Abbildung 5: Beispiel zum Anlegen einer Modbus-LoRaWAN-Box im Reiter „GENERAL“ von ChirpStack

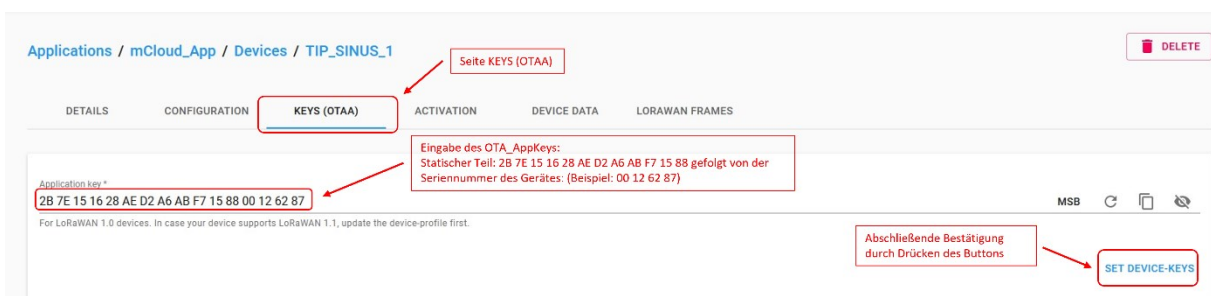


Abbildung 6: Beispiel zum Anlegen einer Modbus-LoRaWAN-Box im Reiter „KEYS (OTAA)“ von ChirpStack

Nach Eingabe des OTA-AppKeys ist die neu angelegte Modbus-LoRaWAN-Box im System registriert und netzseitig betriebsbereit. Über den Reiter „DETAILS“ (siehe Abbildung 6) können Downlink-Pakete an den Zähler gesendet werden und damit die Werkseinstellungen der Modbus-LoRaWAN-Box nach Belieben geändert werden. In den Tabs „DEVICE DATA“ und „LORAWAN FRAMES“ können schliesslich die gesendeten und empfangenen LoRaWAN-Pakete (Livedaten) der im Betrieb befindlichen Modbus-LoRaWAN-Boxen beobachtet und analysiert werden.

2.3. Wartung

Die Modbus-LoRaWAN-Box ist so konzipiert, dass sich das Gerät selbst überwacht und eigenständig feststellt, ob sie noch mit einem LoRaWAN-Netzwerkserver verbunden ist. Zu diesem Zweck sendet das Gerät in vorgegebenen, stochastisch verteilten Zeitintervallen Anfragen an das Netzwerk, die bestätigt werden müssen.

Werden von der Modbus-LoRaWAN-Box mehrere, aufeinanderfolgende Anfragen vom Netzwerk nicht bestätigt, dann führt sie eigenständig ein Re-Join aus. Dadurch bleiben alle vom Anwender zuvor getroffenen Einstellungen (Periodendauer, gewünschte Messwerte, etc.) erhalten. Mit diesem Mechanismus ist eine automatische Migration zu einem neuen LoRaWAN-Netzwerk problemlos möglich. Das gleiche gilt für Netzequipment, das beispielsweise wegen Wartungsarbeiten temporär abgeschaltet oder ausgetauscht wird.

Weiterhin wird der LoRaWAN-Treiber fortlaufend durch interne Watchdog-Timer überwacht, sodass in einem unvorhersehbaren Fehlerfall eigenständig ein Neustart des Kommunikationsmoduls erfolgt.

Durch diese Mechanismen kann die Modbus-LoRaWAN-Box als wartungsfrei betrachtet werden.

2.4. Bedienung

Kundenspezifische Einstellungen an der Modbus-LoRaWAN-Box können komfortabel über das LoRaWAN-Netzwerk vorgenommen werden. Zu diesem Zweck werden Downlink-Pakete vom Netzwerkserver zu den jeweiligen Geräten auf **Port 1** gesendet. Dieser Vorgang wird in den nächsten Abschnitten detailliert beschrieben.

3. Funktionsablauf der Modbus-LoRaWAN-Box

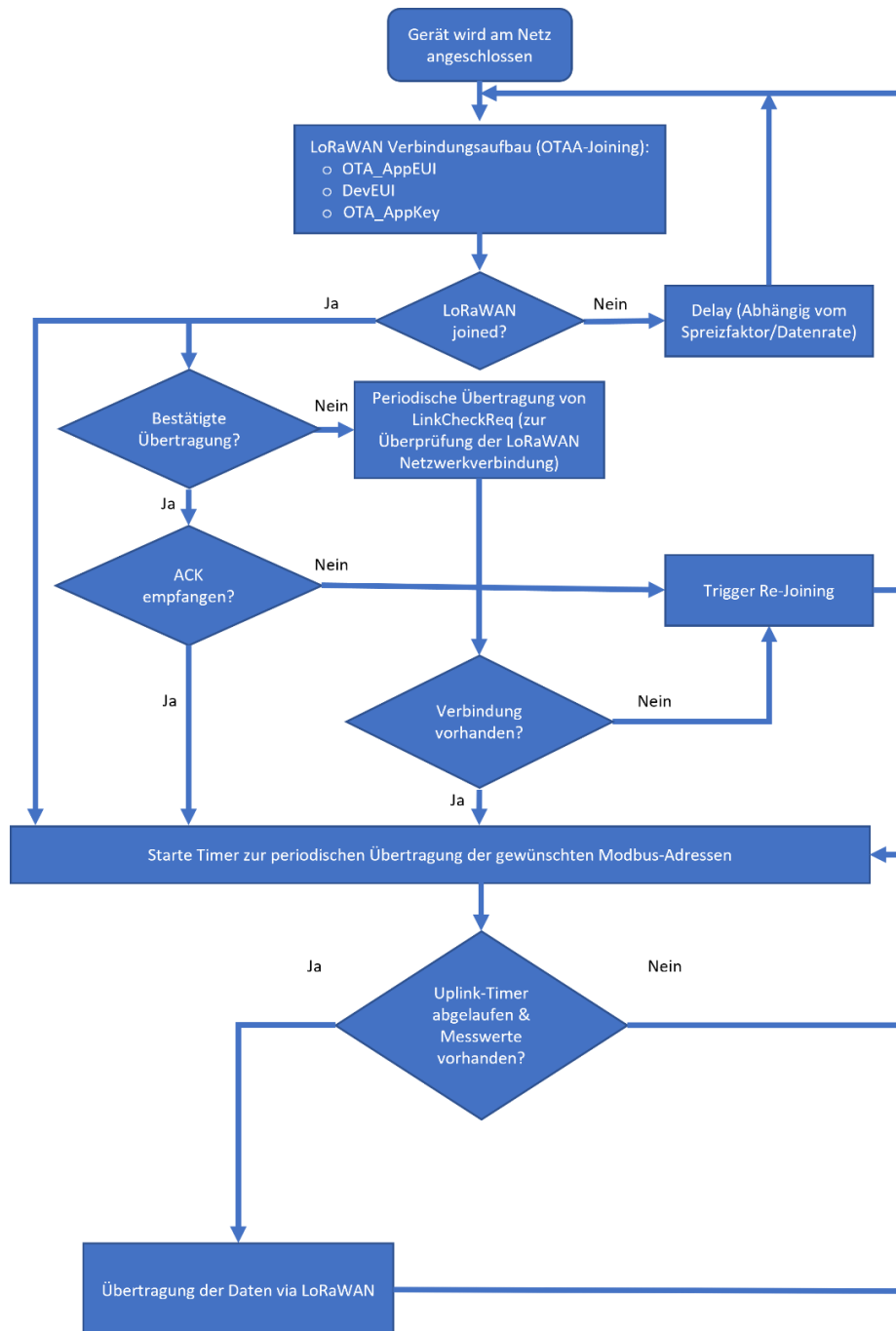


Abbildung 7: Ablaufdiagramm der Modbus-LoRaWAN-Box

In der Abbildung 7 ist das Ablaufdiagramm der Modbus-LoRaWAN-Box exemplarisch dargestellt. Neben dem Verbindungsaufbau (Joining), der Kontrolle ob das Kommunikationsmodul noch mit dem LoRaWAN-Netzwerkserver verbunden ist und der periodischen Abfrage der gewünschten Messdaten, werden nach Ablauf des internen Uplink-Timers die gewünschten Nutzdaten per LoRaWAN übertragen. Im Anschluss werden die einzelnen Schritte detailliert erläutert.

3.1. Joining Vorgang

Nachdem die LoRaWAN-Modbus-Box am LoRaWAN-Netzwerkserver mit den Aktivierungsschlüsseln angelegt, installiert und in Betrieb genommen wurde, initiiert das interne Kommunikationsmodul eigenständig einen Joining Vorgang. Solange keine Join-Accept-Nachricht vom Netzwerkserver empfangen wird, versucht die Modbus-LoRaWAN-Box regelmäßig eine Verbindung aufzubauen. Dabei erfolgen die automatischen Join-Requests nach folgenden Zeitpunkten:

- Unmittelbar nach dem Einschalten des Gerätes
- Nach 30 Sekunden,
- Nach einer Minute
- Nach 5 Minuten
- Zufällig nach 15 Minuten \pm 5 Minuten

Erklärung: Wird nach dem Einschalten des Gerätes keine Join-Accept-Nachricht empfangen, erfolgt ein erneuter Join-Request nach 30 Sekunden. Ist dieser Versuch ebenfalls erfolglos, dann erfolgen weitere Join-Requests nach einer Minute, bzw. nach 5 Minuten. Erst im Anschluss daran werden weitere Verbindungsversuche zufällig nach 15 Minuten \pm 5 Minuten durchgeführt, unter Berücksichtigung der in der EU gültigen, maximalen Sendezeit (Duty-Cycle). Durch diesen Zufallsmechanismus ist sichergestellt, dass sich mehrere Modbus-LoRaWAN-Geräte im Netzwerk kommunikationstechnisch nicht beeinflussen.

3.2. Kontrolle der Kommunikationsverbindung

Nachdem der Joining-Vorgang erfolgreich abgeschlossen wurde, wird von der Modbus-LoRaWAN-Box einmal pro Stunde überprüft, ob noch eine Verbindung zum LoRaWAN-Netzwerkserver besteht. Bei der Konfiguration der Datenpakete kann vom Anwender bestimmt werden, ob jeder Uplink zum Netzwerkserver bestätigt werden muss (Acknowledgement, ACK). Dabei startet die Modbus-LoRaWAN-Box automatisch einen erneuten Verbindungsaufbau (Re-Joining-Prozess), wenn

- keine ACK-Bestätigung innerhalb von 4 Stunden empfangen wird
- oder die Prüfung der Verbindung zum LoRaWAN-Netzwerkserver innerhalb von 4 Stunden fehlschlägt

Im Falle eines Re-Joining Prozesses bleiben alle vom Anwender eingestellten Parameter erhalten und die Modbus-LoRaWAN-Box beginnt den Ablauf eines erneuten Verbindungsaufbaus. Dieser Mechanismus stellt sicher, dass stets eine Verbindung zu einem LoRaWAN-Netzwerkserver besteht.

3.3. Messdatenerfassung

Nachdem der Anwender die gewünschten Modbus-Abfragen und die Periodendauer via Downlink-Pakete festgelegt hat, startet ein periodischer Uplink-Timer. Nach Ablauf dieses Timers werden alle im Gerät gespeicherten Modbus-Nachrichten unmittelbar nacheinander ausgeführt und die einzelnen Modbus-Antworten in Pakete zusammengefasst. Da die maximale Paketgröße bei LoRaWAN von physikalischen Parametern (Spreizfaktor) abhängig ist, wurde bei der Modbus-LoRaWAN-Box die maximale Paketgröße auf

51 Byte festgelegt. Beträgt die Summe aller Modbus-Antworten mehr als 51 Byte, dann wird die Nutzinformation auf mehrerer LoRaWAN-Pakete (mit jeweils maximal 51 Byte) aufgeteilt und übertragen. Um die einzelnen Pakete einem Messzyklus zuordnen zu können, erhält jedes Paket einen spezifischen Header, der in den nachfolgenden Abschnitten näher erläutert wird.

Wurde vom Anwender keine Modbus-Abfrage im System gespeichert, dann wird nach Ablauf des internen Uplink-Timers ein Paket übertragen, welches lediglich ein sogenanntes „Power-On“ im Nutzdateninhalt des Pakets enthält.

3.4. Periodische Reports: Uplink-Nachrichten

Neben denen vom System benötigten Uplink-Nachrichten zur Überprüfung einer Kommunikationsverbindung (Kapitel 3.2), werden die eigentlichen Nutzdaten via eines LoRaWAN-Uplink-Pakets gesendet. Dabei werden die Nutzdaten im Regelbetrieb stets auf dem **LoRaWAN-Port 1** übertragen. Dabei wird zwischen verschiedenen LoRaWAN-Uplink Nachrichten/Paketen unterschieden.

3.4.1. Power-On Uplink-Paket

Die Nutzdaten beziehen sich auf die vom Anwender festgelegten Modbus-Abfragen der an der Modbus-LoRaWAN-Box angeschlossenen Feldbusteilnehmer. In der Werkseinstellung (ohne kundenspezifische Konfiguration) des Gerätes wird auf **Port 1** alle **15 Minuten** ein sogenanntes „Power-On“-Paket übertragen (siehe Tabelle 1). Dieses Paket kennzeichnet, dass noch keine Modbus-Abfragen im System gespeichert sind.

Bezeichnung	Fctrl	CmdID	Anzahl der Nutzdaten-bytes	Zyklischer Frame Counter	Aktueller Frame/ Gesamte Frames	Verwendete Channel IDs	Nutzdateninhalt
Byte	0	1	2	3	4	5 – 8	9 – 10
Wert	FF	0A	02	bb	11	00000000	810E

Tabelle 1: Aufbau eines LoRaWAN-Uplink-Pakets (Power-On) in der Werkseinstellung

Wie in der Tabelle 1 dargestellt, setzt sich das LoRaWAN-Uplink-Paket wie folgt zusammen:

- Byte 0: Function Control (Fctrl): 0xFF → Kennzeichnet zusammen mit der nachfolgenden Command ID einen periodischen Report
- Byte 1: Command ID (CmdID): 0x0A
- Byte 2: Anzahl der Nutzdatenbytes: 0x02 → Gibt die Anzahl der Bytes des Nutzdateninhalts an. Im Beispiel umfasst der Nutzdateninhalt 2 Byte.
- Byte 3: Zyklischer Frame Counter: 0xbb → Paketzähler, der die aktuelle Uplink-Paketnummer angibt (Wertebereich: 0 ... 255 (dezimal), bzw. 0x00 ... 0xFF (hexadezimal))
- Byte 4: Aktueller Frame/Gesamte Frames: 0x11 → Die erste Ziffer kennzeichnet den aktuellen Frame zum zyklischen Frame Counter. Die zweite Ziffer gibt die Gesamtanzahl von Frames an, um die Nutzinformation zu übertragen. Im Beispiel wird ein Frame von insgesamt ein Frame dargestellt.

- Byte 5 – 8: Verwendete Channel IDs: 0x00000000 → Gibt in binärer Darstellung die verwendeten Modbus-Abfragen mit der zugehörigen Channel ID an. Im Beispiel ist keine Modbus-Abfrage im System hinterlegt, weshalb dieses Feld den Wert Null (0x00000000) aufweist.
- Nutzdateninhalt: 0x81 0x0E → Der Nutzdateninhalt umfasst 2 Byte mit den angegebenen Werten. Im Beispiel kennzeichnet dieser Wert, dass noch keine Modbus-Abfrage im System hinterlegt ist (Power-On-Event).

Bitte beachten Sie, dass die angegebenen Werte von Tabelle 1 als Hexadezimalzahlen zu interpretieren sind! Der angegebene zyklische Frame Counter hat im Beispiel einen fiktiven Wert von 0xbb, wobei die beiden Buchstaben als Platzhalter fungieren und einen beliebigen Wert zwischen 0x00 und 0xFF annehmen können.

3.4.2. Reguläres Uplink-Paket

Sobald mindestens eine gültige Modbus-Abfrage im System hinterlegt wurde, wird kein Power-On-Event übertragen, sondern stattdessen die entsprechende Modbus-Antwort in einen Paketrahmen eingebettet und übertragen. Das entsprechende LoRaWAN-Uplink-Paket enthält (analog zur Tabelle 1) folgende Informationen:

Bezeichnung	Fctrl	CmdID	Anzahl der Nutzdatenbytes	Zyklischer Frame Counter	Aktueller Frame/ Gesamte Frames	Verwendete Channel IDs	Nutzdateninhalt
Byte	0	1	2	3	4	5 – 8	9 – max. 50
Wert	FF	0A	aa	bb	cc	ddeeffgg	...

Tabelle 2: Aufbau eines regulären LoRaWAN-Uplink-Pakets

Die mit Platzhaltern versehenen Felder enthalten Werte, entsprechend der jeweiligen Modbus-Abfrage/Anwendung. Um das Prinzip zu verdeutlichen, sind nachfolgend zwei Beispiele aufgeführt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind zwischen den einzelnen Bytes Leerzeichen eingefügt:

Beispiel 1:

Vom Anwender wurden bereits drei Modbus-Abfragen auf den Channel IDs 0 – 2 hinterlegt:

- Channel ID 0: Modbus-Befehl ohne CRC-Prüfsumme: 01 04 0001 0006
- Channel ID 1: Modbus-Befehl ohne CRC-Prüfsumme: 01 04 000D 0006
- Channel ID 2: Modbus-Befehl ohne CRC-Prüfsumme: 01 04 001F 0006

Jede Modbus-Abfrage umfasst sechs Register mit jeweils 16 Bit, wobei entsprechend der Modbus-Beschreibung des angebotenen Messgerätes die Messwerte als Datentyp float dargestellt werden. Damit umfasst jede Modbus-Antwort drei Gleitkommazahlen im 32-Bit Float Format (IEEE-754).

Nach Ablauf des internen Timers werden die einzelnen Modbus-Abfragen sequentiell durchgeführt und die Antworten in folgendem LoRaWAN-Paket übertragen:

FF 0A 24 02 11 00000007 436CF884 436F0FD5 436BC2B6 428A5C83 428A67B2 428A9D3F 45F51A09
45F73BAE 45F2DCF6

- 0xFF: Function Control → Zusammen mit der Command ID → Periodischer Report
- 0x0A: Command ID
- 0x24: Anzahl der Nutzdatenbytes → 36 Byte (dezimal)
- 0x02: Zyklischer Frame Counter → 2 (dezimal)
- 0x11: Aktueller Frame/Gesamtanzahl Frames → Frame 1 von 1
- 0x00000007: Verwendete Channel IDs → Binärkonvertierung: 0111 → Verwendet Channel IDs: 0, 1, 2
- 0x436CF884: Erster Messwert von Channel ID 0 (Modbus-Adresse: 0x01): 236,970 V
- 0x436F0FD5: Zweiter Messwert von Channel ID 0 (Modbus-Adresse 0x03): 239,062 V
- 0x436BC2B6: Dritter Messwert von Channel ID 0 (Modbus-Adresse 0x05): 235,761 V
- 0x428A5C83: Erster Messwert von Channel ID 1 (Modbus-Adresse 0x0D): 69,181 A
- 0x428A67B2: Zweiter Messwert von Channel ID 1 (Modbus-Adresse 0x0F): 69,203 A
- 0x428A9D3F: Dritter Messwert von Channel ID 1 (Modbus-Adresse 0x11): 69,307 A
- 0x45F51A09: Erster Messwert von Channel ID 2 (Modbus-Adresse 0x1F): 7843,254 W
- 0x45F73BAE: Zweiter Messwert von Channel ID 2 (Modbus-Adresse 0x21): 7911,460 W
- 0x45F2DCF6: Dritter Messwert von Channel ID 2 (Modbus-Adresse 0x23): 7771,620 W

Wie man an diesem Beispiel erkennt, umfassen die Antworten der drei gespeicherten Modbus-Abfragen insgesamt 9 Gleitkommazahlen (Gesamter Nutzdateninhalt: 36 Byte). Die Messwerte passen in ein LoRaWAN-Paket (Paketgröße < 51 Byte), daher müssen in dieser Konstellation die Messwerte nicht auf mehrere Pakete aufgeteilt werden. Sobald der Anwender eine weitere Modbus-Abfrage hinzufügt, wird die maximale Paketgröße überschritten, was im Beispiel 2 gezeigt wird.

Beispiel 2:

Dieses Beispiel bezieht sich auf Beispiel 1 und enthält die bereits genannten Channel IDs 0 – 2. Der Anwender fügt noch eine weitere Modbus-Abfrage auf der Channel ID 5 hinzu:

- Channel ID 5: Modbus-Befehl ohne CRC-Prüfsumme: 01 03 E001 0004

Diese Modbus-Abfrage umfasst vier Register mit jeweils 16 Bit, wobei entsprechend der Modbus-Beschreibung des angebenen Messgerätes der Messwerte als Datentyp double dargestellt wird. Damit umfasst die Modbus-Antwort der Channel ID 5 eine Gleitkommazahl im 64-Bit Double Format (IEEE-754).

Nach Ablauf des internen Timers werden die einzelnen Modbus-Abfragen sequentiell durchgeführt und die Antworten in zwei aufeinanderfolgenden LoRaWAN-Paketen übertragen:

Paket 1: FF 0A 24 4B 12 00000007 436C3BFE 436E54E0 436B0BF8 428B2F3D 428B2AA3 428B3F56 45F751ED
45F9AB77 45F506CE

Paket 2: FF 0A 08 4B 22 00000020 412C86C76A92AC2D

Das erste Paket ist entsprechend Beispiel 1, wie folgt zu dekodieren:

- 0xFF: Function Control → Zusammen mit der Command ID → Periodischer Report
- 0x0A: Command ID
- 0x24: Anzahl der Nutzdatenbytes → 36 Byte (dezimal)

- 0x4B: Zyklischer Frame Counter → 75 (dezimal)
- 0x12: Aktueller Frame/Gesamtanzahl Frames → Frame 1 von 2
- 0x00000007: Verwendete Channel IDs → Binärkonvertierung: 0111 → Verwendet Channel IDs: 0, 1, 2
- 0x436C3BFE: Erster Messwert von Channel ID 0 (Modbus-Adresse: 0x01): 236.234 V
- 0x436E54E0: Zweiter Messwert von Channel ID 0 (Modbus-Adresse 0x03): 238.332 V
- 0x436B0BF8: Dritter Messwert von Channel ID 0 (Modbus-Adresse 0x05): 235.047 V
- 0x428B2F3D: Erster Messwert von Channel ID 1 (Modbus-Adresse 0x0D): 69.592 A
- 0x428B2AA3: Zweiter Messwert von Channel ID 1 (Modbus-Adresse 0x0F): 69.583 A
- 0x428B3F56: Dritter Messwert von Channel ID 1 (Modbus-Adresse 0x11): 69.623 A
- 0x45F751ED: Erster Messwert von Channel ID 2 (Modbus-Adresse 0x1F): 7914.241 W
- 0x45F9AB77: Zweiter Messwert von Channel ID 2 (Modbus-Adresse 0x21): 7989.433 W
- 0x45F506CE: Dritter Messwert von Channel ID 2 (Modbus-Adresse 0x23): 7840.851 W

Das Paket 2 enthält folgende Informationen:

- 0xFF: Function Control → Zusammen mit der Command ID → Periodischer Report
- 0x0A: Command ID
- 0x08: Anzahl der Nutzdatenbytes → 8 Byte (dezimal)
- 0x4B: Zyklischer Frame Counter → 75 (dezimal)
- 0x22: Aktueller Frame/Gesamtanzahl Frames → Frame 2 von 2
- 0x00000020: Verwendete Channel IDs → Binärkonvertierung: 100000 → Verwendet Channel IDs: 5
- 0x412C86C76A92AC2D: Erster Messwert von Channel ID 5 (Modbus-Adresse: 0xE001): 934755,708 Wh

Dieses Beispiel zeigt die Aufteilung einer Nutzerkonfiguration auf zwei aufeinanderfolgende Pakete. Dabei kennzeichnet das Feld „Aktueller Frame/Gesamtanzahl Frames“, das aktuelle Paket innerhalb einer Serie von Paketen. Zusammen mit dem zyklischen Frame Counter ist sichergestellt, dass jedes einzelne Paket eindeutig zugeordnet werden kann. Das Nutzdatenfeld enthält der Reihe nach diejenigen Messwerte, die im Feld „verwendete Channel IDs“ gekennzeichnet sind. Dabei sind im Nutzdatenfeld die Messwerte der kleineren Channel IDs zuerst aufgeführt.

Die verwendeten Channel IDs müssen bei der Dekodierung vom Hexadezimal-Zahlensystem in das binäre Zahlenformat umgewandelt werden. Jeder der 32 Bit Positionen kennzeichnet eine Channel ID (Modbus-Abfrage). Das niederwertigste Bit (Position 0) entspricht der Channel ID 0, wohingegen das höchstwertige Bit (Position 31) der Channel ID 31 entspricht. Es sind nur diejenigen Channel IDs im Paket aufgelistet, welche an der entsprechenden Bitposition der verwendeten Channel IDs eine „1“ aufweisen.

3.4.3. Sonderfälle Uplink-Paket

Neben dem Power-On Event in Kapitel 3.4.1 und dem regulären Uplink-Paket in Abschnitt 3.4.2 gibt es Sonderfälle bei den LoRaWAN-Uplink-Paketen, die bei der Dekodierung der Nutzdaten zu berücksichtigen sind:

Sonderfall 1:

Dieser Fall besteht darin, dass eine Antwort einer vom Anwender eingegebenen Modbus-Abfrage mehr als 42 Byte umfasst. In diesem Fall würde zusammen mit dem Header eines jeden Uplink-Pakets (9 Byte) die maximale Paketgröße von 51 Byte überschritten werden. Um auch derartige Fälle abdecken zu können, wird ähnlich zum Power-On-Event von Abschnitt 3.4.1 als Nutzdateninhalt der betreffenden Channel ID der Wert 0x81 0x0C verwendet.

Beispiel 3:

Dieses Beispiel bezieht sich auf Beispiel 2 im Abschnitt 3.4.2, nur dass für die Channel ID 5 eine andere Modbus-Abfrage verwendet wird:

- Channel ID 5: Modbus-Befehl ohne CRC-Prüfsumme: 01 04 0001 0016

Diese Modbus-Abfrage umfasst 22 Register mit jeweils 16 Bit, wobei entsprechend der Modbus-Beschreibung des angebenen Messgerätes die Messwerte als Datentyp float dargestellt werden. Damit umfasst die Modbus-Antwort der Channel ID 5 insgesamt 11 Gleitkommazahlen im 32-Bit Float Format (IEEE-754). Dadurch wird die maximale Paketgröße überschritten:

```
FF 0A 26 75 11 00000027 436CF884 436F0FD5 436BC2B6 428A5C83 428A67B2 428A9D3F 45F51A09  
45F73BAE 45F2DCF6 810C
```

Die Werte sind analog zu den vorhergehenden Beispielen zu dekodieren. Auffallend ist der Wert 0x81, 0x0C in den letzten beiden Bytes des Pakets. Dadurch ist in diesem Fall gekennzeichnet, dass die Antwort zur Modbus-Abfrage mit der Channel ID 5 die maximale Paketgröße von LoRaWAN überschreitet. Die restlichen Daten innerhalb des Pakets sind davon nicht betroffen und stehen dem Anwender zur Verfügung.

Sonderfall 2:

Ein weiterer Sonderfall ergibt sich, wenn die Modbus-Abfrage nicht zum angeschlossenen Feldbusteilnehmer passt und dadurch keine Daten abgefragt werden können. Dies kann mehrere Ursachen haben:

- Gespeicherte Modbus-Geräteadresse ist im Bussystem nicht vorhanden.
- Verwendete Registeradresse existiert nicht.
- Die physikalischen Schnittstellenparameter des Busteilnehmers stimmen nicht mit den Einstellungen der Modbus-LoRaWAN-Box überein:
 - Baudrate
 - Anzahl Datenbits
 - Anzahl Stoppbits
 - Parität
- Die Modbus-LoRaWAN-Box hat keine Berechtigung zum Lesen von Daten des angeschlossenen Feldbusteilnehmers (Passwortschutz, Benutzerberechtigung, ...)
- Der Feldbus weist Störungen auf (zu hohe Baudrate, EMV-Einflüsse, nicht terminiertes Bussystem, ...)
- Die RS-485 Anschlüsse zwischen der Modbus-LoRaWAN-Box und dem Feldbusteilnehmer wurden gekreuzt oder sind nicht korrekt angeschlossen.
- Die Prüfsumme der Modbus-Antwort stimmt nicht mit der internen Berechnung der Prüfsumme der Nutzdaten überein.

Beispiel 4:

Dieses Beispiel bezieht sich auf Beispiel 2 im Abschnitt 3.4.2, nur das für die Channel ID 5 eine andere Modbus-Abfrage mit einer nicht existierenden Geräteadresse 0x02 verwendet wird:

- Channel ID 5: Modbus-Befehl ohne CRC-Prüfsumme: 02 04 0001 0004

Diese Modbus-Abfrage umfasst 4 Register mit jeweils 16 Bit, wobei entsprechend der Modbus-Beschreibung des angebundenes Messgerätes die Messwerte als Datentyp float dargestellt werden. Damit umfasst die Modbus-Antwort der Channel ID 5 insgesamt 2 Gleitkommazahlen im 32-Bit Float Format (IEEE-754). Das Gerät besitzt die Geräteadresse 0x01, die in diesem Beispiel als 0x02 eingegeben und im Gerät gespeichert wurde:

```
FF 0A 26 81 11 00000027 436CF884 436F0FD5 436BC2B6 428A5C83 428A67B2 428A9D3F 45F51A09  
45F73BAE 45F2DCF6 810D
```

Die Werte sind analog zu den vorhergehenden Beispielen zu dekodieren. Auffallend ist der Wert 0x81, 0x0D in den letzten beiden Bytes des Pakets. Dadurch ist gekennzeichnet, dass in diesem Fall keine gültige Antwort zur Modbus-Abfrage mit der Channel ID 5 empfangen werden konnte. Die restlichen Daten innerhalb des Pakets sind davon nicht betroffen und stehen dem Anwender zur Verfügung.

3.4.4. Hinweise

Die Modbus-LoRaWAN-Box bietet dem Anwender ein Maximum an Flexibilität bezüglich anbindbarer Feldbusteilnehmer und Anzahl möglicher Modbus-Abfragen. Jedoch sind folgende Punkte zu beachten:

- Der Anwender hat mit der Modbus-LoRaWAN-Box die Möglichkeit, bis zu 32 verschiedene Modbus-Abfragen im System zu speichern. Der interne Algorithmus setzt die einzelnen Modbus-Antworten derart zusammen, dass die Pakete möglichst voll ausgenutzt werden (maximale Paketgröße: 51 Byte). Aus diesem Grund ist es nicht zwangsläufig der Fall, dass in einem Paket aufeinanderfolgende Channel IDs enthalten sein müssen!
- Enthält die Modbus-Antwort einer vom Anwender gespeicherten Modbus-Abfrage über 42 Byte, dann wird die maximale Paketgröße von 51 Byte überschritten (> 42 Byte Nutzdaten + 9 Byte Header Informationen). Deshalb ist die entsprechende Modbus-Antwort mit 0x81, 0x0C im Nutzdatenfeld des Pakets gekennzeichnet.
- Wird keine gültige Modbus-Antwort auf eine Modbus-Abfrage mit der Channel ID empfangen, dann wird der entsprechende Bereich im Nutzdatenfeld des Pakets mit 0x81, 0x0D gekennzeichnet. Dies bietet dem Anwender die Möglichkeit, die einzelnen Modbus-Abfragen zu kontrollieren.
- Trotz der Vielzahl an Möglichkeiten des Gerätes, müssen die gesetzlichen Bestimmungen für Funkkommunikationssysteme eingehalten werden. Dies betrifft insbesondere den in der EU gültigen Duty-Cycle bezüglich der verwendeten Frequenzen. LoRaWAN nutzt im 868 MHz EU-Frequenzband nicht eine einzelne Frequenz, sondern das Band wird in Abschnitte unterteilt, welche von einem Gerät nur für eine gewisse Zeit genutzt werden kann (Fair-Policy-Ansatz). Daher überwacht das Gerät eigenständig die Nutzungsdauer auf unterschiedlichen Frequenzen und kann eine geplante

Übertragung unterbinden. Aus diesem Grund kann es bei schwierigen Übertragungsbedingungen (hoher Spreizfaktor) und bei vielen Datenpaketen passieren, dass diese nicht vollständig übertragen werden! Werden beispielsweise 5 Pakete zur Übertragung der vom Anwender festgelegten Modbus-Abfragen benötigt und der Duty-Cycle wird erreicht, dann könnten beispielsweise nur 2 der 5 Pakete übertragen werden. Aus diesem Grund sollten Sie sich auf die notwendigsten Informationen bei der Übertragung beschränken!

3.5. Alarm-Reports

Die Modbus-LoRaWAN-Box besitzt in der aktuellen Firmwareversion die Möglichkeit, einstellbare Register bezüglich Wertänderungen zu überwachen. Hierzu müssen zunächst die zu überwachenden Register eingestellt werden (siehe Kapitel 3.6.10). Im Anschluss daran wird eine Periodendauer angegeben (siehe Kapitel 3.6.9), wie häufig die betreffenden Register bezüglich einer Wertänderung überprüft werden sollen. Die Überprüfung besteht darin, dass die eigenstellten Modbus-Register periodisch abgefragt werden und der vorhergehende Messwert mit dem aktuellen Messwert verglichen wird. Besteht eine Abweichung, dann wird sofort ein Alarm-Report gesendet.

Diese Alarm-Reports werden im Regelbetrieb stets auf dem **LoRaWAN-Port 1** übertragen.

Sobald mindestens eine gültige Modbus-Abfrage zur Alarm-Überwachung im System hinterlegt wurde, startet die fortlaufende Überwachung der angegebenen Register. Tritt eine Wertänderung zwischen zwei Abtastzeitpunkten auf, dann wird sofort ein Alarm-Report gesendet, der die in Tabelle 3 gelisteten Informationen beinhaltet:

Bezeichnung	Fctrl	CmdID	Anzahl der Nutzdaten-bytes	Verwendete Alarm IDs	Nutzdateninhalt
Byte	0	1	2	3	4 – max. 50
Wert	EE	0A	aa	bb	...

Tabelle 3: Aufbau eines LoRaWAN-Alarm-Reports

Der Alarm-Report besitzt stets die Function Control (Fctrl) 0xEE und die Command ID (CmdID) 0x0A. Im darauffolgenden Byte sind die Anzahl der Bytes im Nutzdatenfeld des Reports angegeben. Das dritte Byte enthält die Nummern der Alarm-IDs in Binärdarstellung und kennzeichnet dadurch, welche Modbus-Abfragen mit welchen Alarm-IDs den Alarm ausgelöst haben. Die entsprechenden Messwerte zu den dazugehörigen Alarm-IDs sind im Nutzdatenfeld des Reports enthalten. Die in Tabelle 3 vorgesehenen Platzhalter enthalten Werte, entsprechend der jeweiligen Abfrage/Anwendung. Um das Prinzip zu verdeutlichen, ist nachfolgend ein Beispiel aufgeführt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind zwischen den einzelnen Bytes Leerzeichen eingefügt:

Beispiel 1:

Vom Anwender wurde eine Modbus-Abfrage auf der Alarm ID 0 hinterlegt:

- Alarm ID 0: Modbus-Befehl ohne CRC-Prüfsumme: 01 03 7EFE 0001

Der Modbus-Befehl zur Überwachung eines Alarm-Registers darf nur ein Register umfassen. Im Beispiel handelt es sich um das Register 0x7EFE, welches als Vergleichsgruppe eines Messgerätes zur Verfügung gestellt wird. Der entsprechende Wert des Registers ist ein vorzeichenbehafteter 16 Bit integer Wert, der nur die Werte „0“ oder „1“ annehmen kann. Weitere Details zur Einstellung von Alarm-Registern können im Abschnitt 3.6.9 und 3.6.10 nachgelesen werden.

Tritt eine Messwertänderung des betreffenden Registers zwischen zwei Abtastzeitpunkten auf, dann wird folgender Alarm Report gesendet:

EE 0A 02 01 0001

- 0xEE: Function Control → Zusammen mit der Command ID → Alarm Report
- 0x0A: Command ID
- 0x02: Anzahl der Nutzdatenbytes → 2 Byte (dezimal)
- 0x01: Verwendete Alarm IDs → Binärkonvertierung: 0001 → Verwendetes Alarm ID: 0
- 0x0001: Messwert von Channel ID 0 (Modbus-Adresse: 0x7EFE): 1

Wie Sie in diesem Beispiel erkennen, umfasst der Alarm-Report lediglich einen Messwert, der zwei Byte Nutzdateninhalt aufweist. Wären weitere Alarm-IDs im Gerät hinterlegt, dann würden im Falle eines Alarms die entsprechenden Messwerte ebenfalls mit im Nutzdatenfeld des Reports aufgelistet.

3.6. Einstellungen via Downlink-Nachrichten

Ohne werkseitige Vorkonfiguration sendet die Modbus-LoRaWAN-Box alle 15 Minuten ein Power-On-Event, das den Anwender über die korrekte Übertragung zum LoRaWAN-Netzwerkserver informiert. Möchten Sie im laufenden Betrieb die Periodendauer ändern oder neue Modbus-Abfragen im Gerät speichern bzw. löschen, dann können Sie dies über die im Anschluss beschriebenen LoRaWAN-Downlink-Pakete flexibel einstellen.

Analog zur periodischen Übertragung der Messdaten (Uplink-Pakete) erfolgt die Einstellung/ Konfiguration des Gerätes auf dem **LoRaWAN-Port 1**.

3.6.1. Einstellen der Periodendauer

Wie in der Tabelle 4 beschrieben, umfasst das LoRaWAN Downlink-Paket zur Einstellung der Periodendauer 4 Bytes mit folgendem Inhalt:

- **Fctrl** (Function Control): Ein Byte großes Datenfeld, welches die Einstellungen für einen periodischen Report beschreibt. Alle Einstellungen werden mit dem hexadezimalen Zahlenwert **0x01** durchgeführt.
- **CmdID** (Command ID): Ein Byte großes Datenfeld, das die eigentliche Funktion näher beschreibt und den Befehl weiter spezifiziert. Zur Einstellung der Periodendauer ist der hexadezimale Zahlenwert **0x01** erforderlich.

- Die Periodendauer **0xMMMM** gibt die Anzahl der Minuten für die periodische Modbus-Abfrage und Übertragung der Reports im hexadezimalen Zahlensystem an. In der aktuellen Softwareversion werden die Periodendauern 1 Minute - 1440 Minuten (24 Stunden) unterstützt.

Fctrl	CmdID	Periodendauer [min]
01	01	MMMM

Tabelle 4: Downlink-Paket zur Einstellung der Periodendauer

Wird ein solches LoRaWAN-Downlink-Paket auf Port 1 vom Netzwerkserver zur Modbus-LoRaWAN-Box gesendet, dann generiert das interne Kommunikationsmodul eine Antwort, die ebenfalls auf Port 1 gesendet wird und Sie darüber informiert, ob der Befehl vom System akzeptiert wurde oder nicht.

Fctrl	CmdID	Statusbyte
01	01	XX

Tabelle 5: Antwort zur Einstellung der Periodendauer

Wie in der Tabelle 5 ersichtlich, enthält die Antwort die Fctrl (Function Control) und die CmdID (Command ID), gefolgt von einem Status-Byte. Hat das Status-Byte den Wert **0x00**, dann wurde die Einstellung vom LoRaWAN-Modul übernommen und die neue Periodendauer ist gesetzt.

Folgende Antworten generiert das Kommunikationsmodul:

- 01 01 **00**: Der Befehl/ die Einstellung wurde erfolgreich übernommen
- 0A 01 **80**: Die angegebene Fctrl. (Beispiel 0x0A) wird nicht unterstützt
- 01 0B **81**: Die angegebene CmdID (Beispiel 0x0B) wird nicht unterstützt
- 01 01 **82**: Paketgröße des Downlink-Pakets ist ungleich 4 Byte

Die minimale und maximale Periodendauer liegt bei 1 Minute, respektive 1440 Minuten (24 Stunden). Wird im LoRaWAN-Downlink-Paket eine Periodendauer kleiner als 1 Minute oder größer als 1440 Minuten eingegeben, dann wird die Periodendauer automatisch auf 1 Minute respektive 1440 Minuten gesetzt.

Beispiel 1:

Setzen der Periodendauer des Reports auf 60 Minuten: 01 01 003C

- 0x01: Function Control
- 0x01: CmdID: Einstellung der Periodendauer
- 0x003C: Periodendauer in Minuten → 60 Minuten

Antwort vom LoRaWAN-Modul: 01 01 00

- 0x01: Function Control
- 0x01: CmdID: Einstellung der Periodendauer
- 0x00: Status → Okay

Beispiel 2:

Setzen der Periodendauer des Reports auf 21 Minuten: 01 01 0015

- 0x01: Function Control
- 0x01: CmdID: Einstellung der Periodendauer
- 0x0015: Periodendauer in Minuten → 21 Minuten

Antwort vom LoRaWAN Modul: 01 01 00

- 0x01: Function Control
- 0x01: CmdID: Einstellung der Periodendauer
- 0x00: Status → Okay

3.6.2. Einstellen der Modbus-Abfragen

Um kundenspezifische Modbus-Abfragen zur Laufzeit des Gerätes festzulegen, ist ein LoRaWAN-Downlink-Paket auf Port 1 erforderlich, das die Informationen von Tabelle 6 enthält. Dieses Paket beinhaltet folgende Daten:

- **Fctrl** (Function Control): Ein Byte großes Datenfeld, welches die Einstellungen für eine Modbus-Abfrage beschreibt. Alle Einstellungen werden mit dem hexadezimalen Zahlenwert **0x01** durchgeführt.
- **CmdID** (Command ID): Ein Byte großes Datenfeld, das die eigentliche Funktion näher beschreibt und den Befehl weiter spezifiziert. Zur Einstellung einer Modbus-Abfrage ist der hexadezimale Zahlenwert **0x02** erforderlich.
- **ChannelID**: Die Channel ID spezifiziert eine gewünschte Modbus-Abfrage und kann einen Zahlenwert zwischen 0x00 und 0x1F [0, 31] (dezimal) annehmen. Der nachfolgend eingegebene Modbus-Befehl bezieht sich auf die eingetragene Channel ID.
- **Modbus Befehl**: Der Modbus-Befehl wird entsprechend der Modbus-Spezifikation ohne CRC-Prüfsumme eingegeben. Die Prüfsumme wird vom Gerät intern berechnet. In der aktuellen Softwareversion werden die Modbus Funktionscodes 0x03 (Read Holding Registers) und 0x04 (Read Input Registers) unterstützt.

Fctrl	CmdID	Channel ID	Modbus-Befehl ohne CRC-Prüfsumme
01	02	00 – 1F	

Tabelle 6: Downlink-Paket zur Einstellung der im Uplink-Paket enthaltenen Messdaten

Wird ein derartiges LoRaWAN-Downlink-Paket auf Port 1 vom Netzwerkserver zur Modbus-LoRaWAN-Box gesendet, dann generiert das interne Kommunikationsmodul eine Antwort, welche ebenfalls auf Port 1 gesendet wird und den Anwender darüber informiert, ob der Befehl vom System akzeptiert wurde oder nicht.

Fctrl	CmdID	Statusbyte
01	02	XX

Tabelle 7: Antwort zur Einstellung der im Uplink-Paket enthaltenen Messdaten

Entsprechend den Angaben in Tabelle 7 enthält die Antwort die Fctrl (Function Control) und die CmdID (Command ID), gefolgt von einem Status-Byte. Hat das Status-Byte den Wert **0x00**, dann wurde die Einstellung vom LoRaWAN-Modul übernommen und die gewünschte Modbus-Abfrage mit der gewählten Channel ID ist gesetzt.

Folgende Antworten generiert das Kommunikationsmodul:

- 01 02 **00**: Der Befehl/ die Einstellung wurde erfolgreich übernommen
- 0A 02 **80**: Die angegebene Fctrl. (Beispiel 0x0A) wird nicht unterstützt
- 01 0B **81**: Die angegebene CmdID (Beispiel 0x0B) wird nicht unterstützt
- 01 02 **82**: Paketgröße des Downlink-Pakets ist nicht passend
- 01 02 **83**: Der gültige Wertebereich eines Bytes wurde überschritten
- 01 02 **84**: Die angegebene Channel ID liegt außerhalb des gültigen Bereichs [0x00, 0x1F]

Analog zum Anlegen kann eine Modbus-Abfrage auch vom Gerät gelöscht werden. Möchten Sie nur eine einzelne Modbus-Abfrage mit der Channel ID 0xaa löschen, dann geben Sie statt eines Modbus-Befehls das Byte 0xFF ein (siehe Tabelle 8).

Fctrl	CmdID	Channel ID	Modbus-Befehl ohne CRC-Prüfsumme
01	02	aa	FF

Tabelle 8: Downlink-Paket zum Löschen einer Modbus-Abfrage mit der Channel-ID 0xaa

Das System antwortet auf ein derartiges Downlink-Paket identisch wie in Tabelle 7 beschrieben.

Um alle vorhandenen Modbus-Abfragen vom System zu löschen, müssen sowohl die Channel ID als auch der Modbus-Befehl das Byte 0xFF enthalten, wie in Tabelle 9 dargestellt.

Fctrl	CmdID	Channel ID	Modbus-Befehl ohne CRC-Prüfsumme
01	02	FF	FF

Tabelle 9: Downlink-Paket zum Löschen aller Modbus-Abfragen

Die Antwort auf dieses Downlink-Paket ist identisch zur Beschreibung in Tabelle 7.

Beispiel 1:

An die Modbus-LoRaWAN-Box wird ein Messgerät als Modbus-Slave-Teilnehmer angebunden. Das Messgerät besitzt die Geräteadresse 1 und die identischen Schnittstellenparameter wie die Modbus-LoRaWAN-Box. Folgende Register mit folgender Bedeutung sollen im Gerät gespeichert werden:

- Haltereister Startadresse 19000 (0x4A38): RMS Spannungen Phase 1 – 3 (Drei 32-Bit Floating Point Werte)
- Eingaberegister 19010 (0x4A42): Strom Phase 2 (Ein 32-Bit Floating Point Wert)

Die beiden hierfür notwendigen Modbus-Abfragen werden auf die Channel IDs 0 und 1 gespeichert:

- Channel ID 0: Modbus-Befehl ohne CRC-Prüfsumme: 01 03 4A38 0006
- Channel ID 1: Modbus-Befehl ohne CRC-Prüfsumme: 01 04 4A42 0002

Das erste LoRaWAN Downlink-Paket für die Modbus-Abfrage der Channel ID 0 wird auf Port 1 gesendet: 01 02 00 01 03 4A38 0006

- 0x01: Function Control
- 0x02: CmdID: Einstellen einer Modbus-Abfrage
- 0x00: Gewünschte Channel ID
- 0x01: Modbus Geräteadresse
- 0x03: Modbus Funktionscode (0x03 ⇔ Haltereister lesen)
- 0x4A38: Modbus Startadresse der gewünschten Messwerte
- 0x0006: Anzahl der aufeinanderfolgenden Register (0x0006 ⇔ 6 aufeinanderfolgende Register, wobei zwei Register einen 32-Bit Floating Point Messwert bilden → 3 Messwerte)

Das zweite LoRaWAN Downlink-Paket für die Modbus-Abfrage der Channel ID 1 wird ebenfalls auf Port 1 gesendet: 01 02 01 01 04 4A42 0002

- 0x01: Function Control
- 0x02: CmdID: Einstellen einer Modbus-Abfrage
- 0x01: Gewünschte Channel ID
- 0x01: Modbus Geräteadresse
- 0x04: Modbus Funktionscode (0x04 ⇔ Eingaberegister lesen)
- 0x4A42: Modbus Startadresse des gewünschten Messwerts
- 0x0002: Anzahl der aufeinanderfolgenden Register (0x0002 ⇔ 2 aufeinanderfolgende Register, wobei zwei Register einen 32-Bit Floating Point Messwert bilden → 1 Messwert)

Auf die beiden separaten LoRaWAN Downlink-Pakete antwortet die Modbus-LoRaWAN-Box jeweils mit folgendem Paket: 01 02 00

- 0x01: Function Control
- 0x02: CmdID: Einstellen der gewünschten Modbus-Abfrage
- 0x00: Status → Okay

Nachdem das Downlink-Paket akzeptiert wurde, triggert die Modbus-LoRaWAN-Box nach Ablauf der eingestellten Periodendauer die gewünschten Modbus-Abfragen und sendet anschließend die Antworten via

LoRaWAN auf Port 1. Ein entsprechendes, reguläres LoRaWAN-Uplink-Paket könnte beispielsweise wie folgt aussehen:

FF 0A 10 05 11 00000003 436CF884 436F0FD5 436BC2B6 428A5C83

Die gewünschte Kundenkonfiguration passt in ein LoRaWAN-Paket und ist entsprechend der Ausführung von Kapitel 3.4.2 zu dekodieren:

- 0xFF: Function Control → Zusammen mit der Command ID → Periodischer Report
- 0x0A: Command ID
- 0x10: Anzahl der Nutzdatenbytes → 16 Byte (dezimal)
- 0x05: Zyklischer Frame Counter → 5 (dezimal)
- 0x11: Aktueller Frame/Gesamtanzahl Frames → Frame 1 von 1
- 0x00000003: Verwendete Channel IDs → Binärkonvertierung: 0011 → Verwendet Channel IDs: 0, 1
- 0x436CF884: Erster Messwert von Channel ID 0 (Modbus-Adresse: 0x4A38): 236,970 V
- 0x436F0FD5: Zweiter Messwert von Channel ID 0 (Modbus-Adresse 0x4A3A): 239,062 V
- 0x436BC2B6: Dritter Messwert von Channel ID 0 (Modbus-Adresse 0x4A3C): 235,761 V
- 0x428A5C83: Erster Messwert von Channel ID 1 (Modbus-Adresse 0x4A42): 69,181 A

Möchte der Anwender im laufenden Betrieb beispielsweise die Modbus-Abfrage mit der Channel ID 1 löschen, dann ist folgendes LoRaWAN-Downlink-Paket zu verwenden (siehe Tabelle 8): 01 02 01 FF

Sollen alle vorhandenen Modbus-Abfragen vom Gerät gelöscht werden, dann ist folgendes LoRaWAN Downlink-Paket zu senden (siehe Tabelle 9): 01 02 FF FF

3.6.3. Einstellung des Übertragungsmodus

Ab Werk überträgt die Modbus-LoRaWAN-Box die gewünschten Messwerte als unbestätigte (unconfirmed) Uplink-Datenpakete. Da es sich bei LoRaWAN um ein Funkkommunikationssystem handelt, kann nicht garantiert werden, dass die Gegenstelle die Messdaten richtig empfängt. Um mögliche Datenverluste zu reduzieren, können Quittierungen vom LoRaWAN Netzwerkserver angefordert werden. Hierzu muss der Übertragungsmodus von unconfirmed auf confirmed umgestellt werden. Selbstverständlich kann nach dem gleichen Prinzip eine Umstellung von confirmed auf unconfirmed erfolgen.

Analog zu den bisher vorgestellten Konfigurationsmöglichkeiten, muss zur Einstellung des Übertragungsmodus ein Downlink-Paket auf dem LoRaWAN-Port 1 gesendet werden. Das Paket enthält neben der Function Control (Fctrl.) und Command ID (CmdID) ein weiteres Byte zur Charakterisierung, ob die nachfolgenden Pakete bestätigt oder nicht bestätigt werden müssen. Die nachfolgende Tabelle 10 beschreibt den Aufbau des Downlink-Pakets.

Fctrl	CmdID	Confirmed/Unconfirmed
01	03	00/01

Tabelle 10: Downlink-Paket zur Einstellung des Übertragungsmodus

Wird ein derartiges LoRaWAN-Downlink-Paket auf Port 1 vom Netzwerkserver zur Modbus-LoRaWAN-Box gesendet, dann generiert das interne Kommunikationsmodul eine Antwort, welche ebenfalls auf Port 1 übertragen wird und den Anwender darüber informiert, ob der Befehl akzeptiert wurde oder nicht. Der prinzipielle Aufbau der Antwort ist identisch zu Tabelle 5 im Abschnitt 3.6.1: Die Antwort enthält die Fctrl (Function Control) und die CmdID (Command ID), gefolgt von einem Status Byte. Hat das Status Byte den Wert **0x00**, dann wurde die Einstellung vom LoRaWAN-Modul übernommen und der Übertragungsmodus für alle weiteren Uplink-Pakete hat sich entsprechend der Nutzereinstellung geändert.

Folgende Antworten generiert das Kommunikationsmodul:

- 01 03 **00**: Der Befehl/ die Einstellung wurde erfolgreich übernommen
- 0A 03 **80**: Die angegebene Fctrl. (Beispiel 0x0A) wird nicht unterstützt
- 01 0B **81**: Die angegebene CmdID (Beispiel 0x0B) wird nicht unterstützt
- 01 03 **82**: Paketgröße des Downlink-Pakets ist ungleich 3 Byte
- 01 03 **83**: Der gültige Wertebereich des Flags wurde überschritten (Wert ungleich 0x00 oder 0x01)

Beispiel 1:

Setzen des Übertragungsmodus auf confirmed: 01 03 01

- 0x01: Function Control
- 0x03: CmdID: Einstellung des Übertragungsmodus
- 0x01: Übertragungsmodus → Confirmed (Anforderung einer Quittierung)

Antwort vom LoRaWAN-Modul: 01 03 00

- 0x01: Function Control
- 0x03: CmdID: Einstellung des Übertragungsmodus
- 0x00: Status → Okay

Beispiel 2:

Setzen des Übertragungsmodus auf unconfirmed: 01 03 00

- 0x01: Function Control
- 0x03: CmdID: Einstellung des Übertragungsmodus
- 0x00: Übertragungsmodus → Unconfirmed (Keine Quittierung)

Antwort vom LoRaWAN Modul: 01 03 00

- 0x01: Function Control
- 0x03: CmdID: Einstellung des Übertragungsmodus
- 0x00: Status → Okay

Hinweis: Bitte berücksichtigen Sie, dass das Datenaufkommen bei bestätigten (confirmed) Übertragungen deutlich grösser ist, als bei unbestätigten (unconfirmed) Sendungen. Dies kann vor allem bei kleinen Periodendauern dazu führen, dass der in der EU gültige Duty Cycle im 868 MHz Frequenzband greift und Uplink-Pakete vom LoRaWAN-Treiber für eine gewisse Zeit nicht mehr übertragen werden können (rechtliche Vorgabe). Aus diesem Grund sollten bestätigte Übertragungen nur beim Einsatz in abrechnungsrelevanten Bereichen oder beim Einsatz in kritischen Infrastrukturen, unter Berücksichtigung der Periodendauer und der Anzahl von Modbus-Abfragen, verwendet werden!

3.6.4. Einstellen der LoRaWAN-Datenrate

In der Werkseinstellung der Modbus-LoRaWAN-Box ist die Datenrate der LoRaWAN-Übertragung auf adaptiv eingestellt, d.h. das Gerät passt eigenständig die Datenrate (bzw. den Spreizfaktor) den vorherrschenden Funkkanalbedingungen an. Je kleiner die Datenrate, desto größer der Spreizfaktor des Modulationsverfahrens und desto schwieriger sind die Kanalbedingungen. In Tabelle 11 sind die von LoRaWAN im EU-Frequenzband unterstützten Datenraten zusammengefasst.

Datenrate	Spreizfaktor
0	SF 12
1	SF 11
2	SF 10
3	SF 9
4	SF 8
5	SF 7

Tabelle 11: Zusammenhang zwischen LoRaWAN-Datenrate und Spreizfaktor im EU-Frequenzband

Möchten Sie eine gewünschte LoRaWAN-Datenrate einstellen, dann kann dies mit Hilfe eines Downlink-Pakets auf Port 1 erfolgen. Das Paket enthält neben der Function Control (Fctrl.) und Command ID (CmdID) ein weiteres Byte zur Eingabe der Datenrate. Die nachfolgende Tabelle 12 beschreibt den Aufbau des Downlink-Pakets.

Fctrl	CmdID	Datenrate
01	04	00 – 06

Tabelle 12: Downlink Paket zur Einstellung der LoRaWAN-Datenrate

Wie bereits in Tabelle 11 zusammengefasst, werden die Datenraten 0 – 5 unterstützt. Möchten Sie eine adaptive Datenrate nutzen, dann verwenden Sie die fiktive Datenrate 6 (Werkseinstellung).

Wird ein derartiges LoRaWAN Downlink-Paket auf Port 1 vom Netzwerkserver zur Modbus-LoRaWAN-Box gesendet, dann muss der interne LoRaWAN-Treiber neu gestartet werden, weshalb das Gerät eigenständig einen Neustart mit den neuen LoRaWAN-Parametern durchführt (Rejoining). Aus diesem Grund wird nur eine Antwort generiert, wenn die Nutzereingabe fehlerhaft ist.

Folgende Antworten generiert das Kommunikationsmodul bei einer Falscheingabe:

- 0A 04 **80**: Die angegebene Fctrl. (Beispiel 0x0A) wird nicht unterstützt
- 01 0B **81**: Die angegebene CmdID (Beispiel 0x0B) wird nicht unterstützt
- 01 04 **82**: Paketgröße des Downlink-Pakets ist ungleich 3 Byte
- 01 04 **83**: Der gültige Wertebereich des Flags wurde überschritten (Wert außerhalb des Intervalls [0x00, 0x06])

Beispiel 1:

Setzen der Datenrate auf 03 (SF9): 01 04 03

- 0x01: Function Control

- 0x04: CmdID: Einstellen der LoRaWAN-Datenrate
- 0x03: Datenrate 03 (Spreizfaktor 9)

Da die Eingabe richtig erfolgte führt das Gerät eigenständig einen Neustart durch.

Beispiel 2:

Einstellen einer adaptiven Datenrate 06: 01 04 06

- 0x01: Function Control
- 0x04: CmdID: Einstellen der LoRaWAN-Datenrate
- 0x06: Adaptive Datenrate 06

Da die Eingabe vom Anwender richtig durchgeführt wurde, führt das Gerät eigenständig einen Neustart durch und die Datenrate wird von nun an automatisch den Kanalbedingungen angepasst.

3.6.5. Einstellen der Baudrate

In der Werkseinstellung der Modbus-LoRaWAN-Box beträgt die Baudrate auf dem RS-485 Bus 19200 bit/s. Möchten Sie die Datenrate auf dem Bus ändern, können Sie dies mit Hilfe eines LoRaWAN-Downlink-Pakets auf Port 1 realisieren.

Analog zu den bisher vorgestellten Konfigurationsmöglichkeiten, muss zur Einstellung des Übertragungsmodus ein Downlink-Paket auf dem LoRaWAN-Port 1 gesendet werden. Das Paket enthält neben der Function Control (Fctrl.) und Command ID (CmdID) weitere drei Bytes zur Einstellung der Baudrate. Die nachfolgende Tabelle 13 beschreibt den Aufbau des Downlink-Pakets.

Fctrl	CmdID	Baudrate in bit/s
01	05	aabbcc

Tabelle 13: Downlink-Paket zur Einstellung der Baudrate des RS-485 Busses

Folgende Baudraten werden von der Modbus-LoRaWAN-Box unterstützt:

Baudrate in bit/s (dezimal)	Baudrate in bit/s (hexadezimal)
1200	0004B0
2400	000960
4800	0012C0
9600	002580
19200	004B00 (Werkseinstellung)
38400	009600
57600	00E100
115200	01C200

Tabelle 14: Mögliche Baudraten des Gerätes auf dem RS-485 Bus in dezimaler und hexadezimaler Darstellung

Bitte beachten Sie, dass die Baudrate innerhalb des Downlink-Pakets in hexadezimaler Darstellung einzutragen ist. Berücksichtigen Sie hierbei etwaig führende Nullen im Zahlenwert (siehe Tabelle 14)!

Wird ein derartiges LoRaWAN-Downlink-Paket auf Port 1 vom Netzwerkserver zur Modbus-LoRaWAN-Box gesendet, dann generiert das interne Kommunikationsmodul eine Antwort, welche ebenfalls auf Port 1 übertragen wird und den Anwender darüber informiert, ob der Befehl akzeptiert wurde oder nicht. Der prinzipielle Aufbau der Antwort ist identisch zu Tabelle 5 im Abschnitt 3.6.1: Die Antwort enthält die Fctrl (Function Control) und die CmdID (Command ID), gefolgt von einem Status Byte. Hat das Status Byte den Wert **0x00**, dann wurde die Einstellung übernommen und die gewählte Baudrate auf dem RS-485 Bus wurde entsprechend geändert.

Folgende Antworten generiert das Kommunikationsmodul:

- 01 05 **00**: Der Befehl/ die Einstellung wurde erfolgreich übernommen
- 0A 05 **80**: Die angegebene Fctrl. (Beispiel 0x0A) wird nicht unterstützt
- 01 0B **81**: Die angegebene CmdID (Beispiel 0x0B) wird nicht unterstützt
- 01 05 **82**: Paketgröße des Downlink-Pakets ist ungleich 5 Byte
- 01 05 **83**: Der gültige Wertebereich der Baudrate wurde nicht eingehalten (Wert außerhalb der in Tabelle 12 angegebenen Baudraten)

Beispiel 1:

Setzen der Baudrate auf 9600 bit/s: 01 05 002580

- 0x01: Function Control
- 0x05: CmdID: Einstellen der Baudrate
- 0x002580: Baudrate: 9600 bit/s

Antwort vom LoRaWAN Modul: 01 05 00

- 0x01: Function Control
- 0x05: CmdID: Einstellen der Baudrate
- 0x00: Status → Okay

3.6.6. Einstellen weiterer Schnittstellenparameter

Neben der im vorherigen Abschnitt vorgestellten Möglichkeit zur Einstellung der Baudrate, können noch weitere Schnittstellenparameter des RS-485 Busses angepasst werden. Dies betrifft folgende Parameter:

- Anzahl der Datenbits
- Anzahl der Stoppbits
- Parität

In der Werkseinstellung des Gerätes werden 8 Datenbits, 1 Stoppbit und keine Parität (None) verwendet. Möchten Sie diese Werte anpassen, dann kann dies mit Hilfe eines LoRaWAN-Downlink-Pakets auf Port 1 erfolgen (siehe Tabelle 15): Neben der Function Control (Fctrl.) und Command ID (CmdID) wird die Anzahl der Datenbits (0xaa), die Anzahl der Stoppbits (0xbb) und die Parität (0xcc) eingetragen.

Fctrl	CmdID	Anzahl Datenbits	Anzahl Stoppbits	Parität
01	06	aa	bb	cc

Tabelle 15: Downlink-Paket zur Einstellung weiterer Schnittstellenparameter des RS-485 Busses

Für die Anzahl der Datenbits (0xaa) können folgende Werte verwendet werden:

- 7 Datenbits: 0x07
- 8 Datenbits: 0x08 (Werkseinstellung)
- 9 Datenbits: 0x09

Die Stoppbits können folgende Werte annehmen:

- 0,5 Stoppbits: 0x05
- 1 Stoppbit: 0x10 (Werkseinstellung)
- 1,5 Stoppbits: 0x15
- 2 Stoppbits: 0x20

Für die Parität sind drei Möglichkeiten vorhanden:

- Keine Parität (None): 0x00 (Werkseinstellung)
- Parität Odd: 0x01
- Parität Even: 0x02

Unter Berücksichtigung dieser Einstellmöglichkeiten generiert das LoRaWAN-Gerät eine Antwort auf das Downlink-Paket, welches neben der Fctrl (Function Control) und CmdID (Command ID) auch ein Status-Byte enthält. Hat das Status-Byte den Wert **0x00**, dann wurden die Einstellung übernommen und die neuen Schnittstellenparameter sind entsprechend geändert.

Folgende Antworten sind möglich:

- 01 06 **00**: Der Befehl/ die Einstellung wurde erfolgreich übernommen
- 0A 06 **80**: Die angegebene Fctrl. (Beispiel 0x0A) wird nicht unterstützt
- 01 0B **81**: Die angegebene CmdID (Beispiel 0x0B) wird nicht unterstützt
- 01 06 **82**: Paketgröße des Downlink-Pakets ist ungleich 5 Byte
- 01 06 **83**: Der gültige Wertebereich der Schnittstellenparameter wurde nicht eingehalten (Wert außerhalb der oben genannten Grenzen für die Werte: Datenbits, Stoppbits, Parität)

Beispiel 1:

Setzen folgender Schnittstellenparameter: 9 Datenbits, 2 Stoppbits, Parität Even: 01 06 092002

- 0x01: Function Control
- 0x06: CmdID: Einstellen der Schnittstellenparameter
- 0x09: Anzahl Datenbits: 9
- 0x20: Anzahl Stoppbits: 2
- 0x02: Parität: Even

Antwort vom LoRaWAN Modul: 01 06 00

- 0x01: Function Control

- 0x06: CmdID: Einstellen der Baudrate
- 0x00: Status → Okay

3.6.7. Manuelles Re-Joining

Neben der automatischen Kontrolle der Kommunikationsverbindung (siehe Kapitel 3.2) gibt es auch die Möglichkeit, ein Re-Joining manuell über ein LoRaWAN-Downlink-Paket zu initiieren. Hierfür wird ein Downlink-Paket auf dem LoRaWAN-Port 1 gesendet, das die Function Control (Fctrl.), die Command ID (CmdID) und ein Flag enthält. Das ein Byte große Flag spezifiziert, ob sofort ein Re-Joining durchgeführt werden soll oder nicht.

Fctrl	CmdID	Re-Joining-Byte
01	07	00/01

Tabelle 16: Downlink-Paket zur manuellen Durchführung eines Re-Joins

Nachdem Sie das in Tabelle 16 dargestellte Downlink-Paket gesendet haben, hängt es davon ab, ob das Re-Joining-Byte im Downlink-Paket den Wert 0x01 oder 0x00 hat. Ist der Wert 0x01, dann erfolgt umgehend ein neuer Verbindungsaufbau zu einem LoRaWAN-Netzwerkserver, ohne das vom Kommunikationsmodul eine Antwort gesendet wird.

Sollte das Re-Joining-Byte des Downlink-Pakets (versehentlich) den Wert 0x00 haben, dann erfolgt kein Re-Joining und die Modbus-LoRaWAN-Box antwortet mit einem Uplink-Paket, entsprechend der Darstellung in Tabelle 5. Hat das darin enthaltene Status-Byte der Antwort den Wert **0x00**, dann wurde die Einstellung vom LoRaWAN-Modul übernommen und der Anwender wird über die getätigte Operation informiert. Eine Antwort wird ebenfalls gesendet, wenn das Downlink-Paket in Tabelle 16 einen Fehler aufweist.

Folgende Antworten generiert das Kommunikationsmodul:

- 01 07 **00**: Der Befehl/ die Einstellung wurde erfolgreich übernommen
- 0A 07 **80**: Die angegebene Fctrl. (Beispiel 0x0A) wird nicht unterstützt
- 01 0B **81**: Die angegebene CmdID (Beispiel 0x0B) wird nicht unterstützt
- 01 07 **82**: Paketgröße des Downlink-Pakets ist ungleich 3 Byte
- 01 07 **83**: Der gültige Wertebereich des Flags wurde nicht eingehalten (Wert ungleich 0x00 oder 0x01)

Beispiel 1:

Setzen des Re-Joining Bytes auf 0x01: 01 07 01

- 0x01: Function Control
- 0x07: CmdID: Durchführung eines manuellen Re-Join
- 0x01: Flag → Sofortige Durchführung eines Re-Join

Es wird keine Antwort vom LoRaWAN-Modul generiert und sofort das Re-Joining durchgeführt.

Beispiel 2:

Anwenderfehler: Versehentliches Setzen des Re-Joining-Bytes auf den Wert 0x05: 01 07 05

- 0x01: Function Control
- 0x07: CmdID: Durchführung eines manuellen Re-Join
- 0x05: Flag → Wert 0x05 wird nicht unterstützt → Keine Durchführung eines Re-Join

Antwort vom LoRaWAN-Modul: 01 07 83

- 0x01: Function Control
- 0x07: CmdID: Durchführung eines manuellen Re-Join
- 0x83: Status → Wertebereich des Flags überschritten

Hinweis: Im Falle eines Re-Joining-Prozesses bleiben alle vom Anwender eingestellten Parameter erhalten und die Modbus-LoRaWAN-Box beginnt mit einem erneuten Verbindungsaufbau. Dieser Mechanismus kann beispielsweise dazu verwendet werden, wenn das LoRaWAN Netzequipment geändert wird oder keine Datenpakete eines Modbus-Teilnehmers empfangen werden. Neben dieser manuellen Methode erfolgt im Programmablauf des Kommunikationsmoduls stets eine automatische Überprüfung der Kommunikationsverbindung, entsprechend der Beschreibung in Kapitel 3.2.

3.6.8. Software-Reset

Während die im vorherigen Abschnitt 3.6.7 dargestellte Methode einen manuellen Re-Joining Vorgang durchführt, kann mit dem hier vorgestellten Downlink-Paket ein harter Software-Reset des Kommunikationsmoduls erfolgen. Der Aufbau des dazu notwendigen Downlink-Pakets ist ähnlich zum Re-Joining Prozess, nur dass die Command ID (CmdID) den Wert 0x08 annimmt:

Fctrl	CmdID	Software-Reset
01	08	00/01

Tabelle 17: Downlink Paket zur manuellen Durchführung eines Software-Resets

In analoger Weise wie beim manuellen Re-Joining hängt es davon ab, ob das Reset Byte im Downlink-Paket des Anwenders den Wert 0x01 oder 0x00 besitzt. Ist der Wert 0x01, dann erfolgt umgehend ein Software-Reset, ohne dass das Kommunikationsmodul eine Antwort sendet.

Sollte das Reset Byte des Downlink-Pakets (versehentlich) den Wert 0x00 haben, dann erfolgt kein Neustart des Kommunikationsmoduls und die Modbus-LoRaWAN-Box antwortet mit einem Uplink-Paket, entsprechend der Darstellung in Tabelle 5. Hat das darin enthaltene Status Byte den Wert **0x00**, dann wurde die Einstellung vom LoRaWAN Modul übernommen und der Anwender wird über die getätigte Operation informiert. Eine Antwort wird ebenfalls gesendet, wenn das Downlink-Paket in Tabelle 17 einen Fehler aufweist.

Folgende Antworten generiert das Kommunikationsmodul:

- 01 08 **00**: Der Befehl/ die Einstellung wurde erfolgreich übernommen
- 0A 08 **80**: Die angegebene Fctrl. (Beispiel 0x0A) wird nicht unterstützt
- 01 0B **81**: Die angegebene CmdID (Beispiel 0x0B) wird nicht unterstützt
- 01 08 **82**: Paketgröße des Downlink-Pakets ist ungleich 3 Byte
- 01 08 **83**: Der gültige Wertebereich des Flags wurde nicht eingehalten (Wert ungleich 0x00 oder 0x01)

Beispiel 1:

Durchführung eines Software-Resets des Gerätes: Setzen des Reset Bytes auf 0x01: 01 08 01

- 0x01: Function Control
- 0x08: CmdID: Durchführung eines Software Reset
- 0x01: Flag → Sofortige Durchführung eines Software Reset

Es wird keine Antwort vom LoRaWAN Modul generiert und sofort der Neustart des Kommunikationsmoduls durchgeführt.

Beispiel 2:

Anwenderfehler: Versehentliches Setzen des Reset Byte auf den Wert 0x07: 01 08 07

- 0x01: Function Control
- 0x08: CmdID: Durchführung eines Software Reset
- 0x07: Flag → Wert 0x07 wird nicht unterstützt → Keine Durchführung eines Reset

Antwort vom LoRaWAN Modul: 01 08 83

- 0x01: Function Control
- 0x08: CmdID: Durchführung eines Software-Reset
- 0x83: Status → Wertebereich des Flags überschritten

Hinweis: Die Durchführung eines harten Software-Reset des Kommunikationsmoduls ist im Regelbetrieb der Modbus-LoRaWAN-Box nicht erforderlich! Möchte der Anwender dennoch einen Neustart erzwingen, kann das soeben beschriebene LoRaWAN Downlink-Paket verwendet werden. Bitte beachten Sie, dass bei einem Software-Reset der gesamte Prozess von vorne beginnt. Zuvor vom Anwender (via Downlink-Pakete) eingestellte Parameter (Periodendauer, Modbus-Abfragen, etc.) bleiben auch nach einem Neustart erhalten! Es muss darauf geachtet werden, dass der Frame Counter im LoRaWAN Netzwerkserver per Reset von vorne beginnt, wenn der Anwender einen Software-Reset an der Modbus-LoRaWAN-Box initiiert. Ansonsten kann der Joining Vorgang des Gerätes, aufgrund von Differenzen im Frame-Counter, unter Umständen eine längere Zeit in Anspruch nehmen.

3.6.9. Einstellen der Alarm-Überwachung

Die Modbus-LoRaWAN-Box besitzt in der aktuellen Firmwareversion die Möglichkeit, einstellbare Register bezüglich Wertänderungen zu überwachen. Hierzu müssen zunächst die zu überwachenden Register eingestellt werden (siehe nachfolgender Abschnitt 3.6.10). Im Anschluss daran wird eine Periodendauer angegeben, wie häufig die betreffenden Register bezüglich einer Wertänderung überprüft werden sollen. Die Überprüfung besteht darin, dass die eigenstellten Modbus-Register periodisch abgefragt werden und der vorhergehende Messwert mit dem aktuellen Messwert verglichen wird. Besteht eine Abweichung, dann wird sofort ein Alarm Report gesendet.

In diesem Abschnitt geht es um die Einstellung der Periodendauer zur Abfrage der betreffenden Register (Alarm Register). Dabei wird die Periodendauer in Sekunden angegeben. Der Wertebereich der Alarm-Periode liegt zwischen 1s bis 3600s (1 Std.).

In der Werkseinstellung beträgt die Alarm-Periode 1 Sekunde. Die Überwachung von Registern und das Triggern eines Alarms erfolgt aber erst, wenn entsprechende Alarm-Register (siehe nachfolgender Abschnitt 3.6.10) im Gerät gespeichert sind.

Analog zu den bisher vorgestellten Konfigurationsmöglichkeiten, muss zur Einstellung der Alarm-Periodendauer ein Downlink-Paket auf dem LoRaWAN Port 1 gesendet werden. Das Paket enthält neben der Function Control (Fctrl.) und Command ID (CmdID) zwei weitere Bytes zur Einstellung der Periodendauer. Die nachfolgende Tabelle 18 beschreibt den Aufbau des Downlink-Pakets.

Fctrl	CmdID	Periodendauer [sec]
01	09	SSSS

Tabelle 18: Downlink Paket zur Einstellung der Alarm Periodendauer zur Überwachung dedizierter Register

Wird ein derartiges LoRaWAN Downlink-Paket auf Port 1 vom Netzwerkserver zur Modbus-LoRaWAN-Box gesendet, dann generiert das interne Kommunikationsmodul eine Antwort, welche ebenfalls auf Port 1 übertragen wird und den Anwender darüber informiert, ob der Befehl akzeptiert wurde oder nicht. Der prinzipielle Aufbau der Antwort ist identisch zu Tabelle 5 im Abschnitt 3.6.1: Die Antwort enthält die Fctrl (Function Control) und die CmdID (Command ID), gefolgt von einem Status Byte. Hat das Status Byte den Wert **0x00**, dann wurde die Einstellung übernommen und die Alarm-Periodendauer zur Überwachung der Alarm-Register wurde entsprechend geändert.

Folgende Antworten generiert das Kommunikationsmodul:

- 01 09 **00**: Der Befehl/ die Einstellung wurde erfolgreich übernommen
- 0A 09 **80**: Die angegebene Fctrl. (Beispiel 0x0A) wird nicht unterstützt
- 01 0B **81**: Die angegebene CmdID (Beispiel 0x0B) wird nicht unterstützt
- 01 09 **82**: Paketgröße des Downlink-Pakets ist ungleich 4 Byte

Gibt der Anwender eine Periodendauer größer als 3600 s (1 Std.) ein, dann wird automatisch die maximal mögliche Periodendauer (1 Std.) gesetzt.

Beispiel 1:

Setzen der Alarm-Periodendauer auf 30 Sekunden: 01 09 001E

- 0x01: Function Control
- 0x09: CmdID: Einstellung der Alarm-Periodendauer
- 0x001E: Alarm-Periodendauer in Sekunden → 30 Sekunden

Antwort vom LoRaWAN Modul: 01 09 00

- 0x01: Function Control
- 0x09: CmdID: Einstellung der Alarm-Periodendauer
- 0x00: Status → Okay

Hinweise:

- Bevor der Anwender die Möglichkeit zur Überwachung dedizierter Registerwerte verwendet, ist dafür Sorge zu tragen, dass die betreffenden Messwerte nicht oszillieren. Aus diesem Grund sind Alarmer nur zu verwenden, wenn das entsprechende Messgerät über Hysterese Funktionen oder weiteren Einstellmöglichkeiten verfügt. Wenn dies nicht berücksichtigt wird, kann es passieren, dass bei jeder Alarm-Periode ein Alarm-Report gesendet wird!
- Weiterhin eignet sich das Alarm-Handling des Gerätes nicht zum Vergleich von Gleitkommazahlen, da diese Zahlen fortlaufende Änderungen zu einem vorhergehenden Messwert aufweisen können. Aus diesem Grund wird die Alarm-Funktionalität primär zur Überwachung von Komparatoren verwendet, die von externen Messgeräten häufig in Form spezieller Register zur Verfügung gestellt werden. Mit den oben genannten Hysterese Funktionen ist sichergestellt, dass nicht permanent Alarm-Reports gesendet werden.
- Die Alarm-Funktionalität der Modbus-LoRaWAN-Box verfügt in der aktuellen Firmwareversion nur über eine Vergleichsoperation zu vorhergehenden Messwerten. Weitere mathematische Operationen, wie beispielsweise größer oder kleiner als ein vorgegebener Schwellwert, werden derzeit nicht unterstützt.
- Wird vom Anwender eine Alarm-Periodendauer eingestellt, dann findet die Abfrage der spezifizierten Alarm-Register erst statt, wenn diese im System angelegt wurden (siehe Abschnitt 3.6.10).

3.6.10. Einstellen der Alarm-Register

Wie im vorherigen Abschnitt bereits erläutert, müssen für ein Alarm-Handling entsprechende Modbus-Abfragen hinterlegt werden, welche periodisch abgefragt werden. Tritt dabei eine Wertänderung zu einem vorhergehenden Messwert ein, dann wird ein Alarm-Report gesendet. In der aktuellen Firmwareversion können bis zu 5 Modbus-Abfragen hinterlegt werden, welche sich auf einen Alarm beziehen. Die Konfiguration erfolgt via LoRaWAN-Downlink-Paket auf Port 1, entsprechend Tabelle 19:

Fctrl	CmdID	Alarm ID	Modbus-Befehl ohne CRC-Prüfsumme	Datentyp
01	0A	00 – 04		00/01

Tabelle 19: Downlink Paket zur Einstellung der Alarm-Register

Neben der Function Control (Fctrl) und Command ID (CmdID) ist die Alarm ID erforderlich. Die Alarm ID kann Werte zwischen 0x00 und 0x04 annehmen und ermöglicht die Zuordnung eines Modbus-Befehls zu einer Alarm ID. Anschließend wird der Modbus-Befehl des zu überwachenden Registers eingetragen, ohne CRC-Prüfsumme. Der Modbus-Befehl darf im Falle eines Alarms nur ein Register umfassen! Weiterhin werden nur die Funktionscodes 0x03 (Haltregister lesen) und 0x04 (Eingaberegister lesen) unterstützt. Das letzte Byte im Downlink-Paket enthält den Datentyp des auszulesenden Registers. Folgende Datentypen werden unterstützt:

- Datentyp 0x00: Unsigned integer (positive Ganzzahl)
- Datentyp 0x01: Signed integer (vorzeichenbehaftete Ganzzahl)

Wird ein derartiges LoRaWAN Downlink-Paket auf Port 1 vom Netzwerkserver zur Modbus-LoRaWAN-Box gesendet, dann generiert das interne Kommunikationsmodul eine Antwort, welche ebenfalls auf Port 1 gesendet wird und den Anwender darüber informiert, ob der Befehl vom System akzeptiert wurde oder nicht.

Fctrl	CmdID	Statusbyte
01	0A	XX

Tabelle 20: Antwort zur Einstellung der Alarm-Register

Wie in Tabelle 20 dargestellt, enthält die Antwort die Fctrl (Function Control) und die CmdID (Command ID), gefolgt von einem Status-Byte. Hat das Status-Byte den Wert **0x00**, dann wurde die Einstellung vom LoRaWAN Modul übernommen und die gewünschte Modbus-Abfrage mit der gewählten Alarm ID ist im Gerät gespeichert.

Folgende Antworten generiert das Kommunikationsmodul:

- 01 0A **00**: Der Befehl/ die Einstellung wurde erfolgreich übernommen
- 0C 0A **80**: Die angegebene Fctrl. (Beispiel 0x0C) wird nicht unterstützt
- 01 0D **81**: Die angegebene CmdID (Beispiel 0x0D) wird nicht unterstützt
- 01 0A **82**: Paketgröße des Downlink-Pakets ist unpassend
- 01 0A **83**: Der gültige Wertebereich eines Bytes wurde nicht eingehalten

In analoger Weise wie beim Anlegen kann eine Modbus-Abfrage auch vom Gerät gelöscht werden. Möchte der Anwender nur eine einzelne Modbus-Abfrage mit der Alarm ID 0xaa löschen, dann ist anstatt eines Modbus-Befehls das Byte 0xFF einzugeben, ohne Angaben des Datentyps (siehe Tabelle 21).

Fctrl	CmdID	Alarm ID	Modbus-Befehl ohne CRC-Prüfsumme
01	0A	aa	FF

Tabelle 21: Downlink Paket zum Löschen einer Modbus-Abfrage mit der Alarm ID 0xaa

Das System antwortet auf ein derartiges Downlink-Paket identisch wie in Tabelle 20 beschrieben.

Um alle vorhandenen Modbus-Abfragen vom System zu löschen, müssen sowohl die Alarm ID als auch der Modbus-Befehl das Byte 0xFF aufweisen, wie in Tabelle 22 dargestellt.

Fctrl	CmdID	Alarm ID	Modbus-Befehl ohne CRC-Prüfsumme
01	0A	FF	FF

Tabelle 22: Downlink Paket zum Löschen aller Modbus-Abfragen

Die Antwort auf dieses Downlink-Paket ist identisch zur Beschreibung in Tabelle 20.

Beispiel 1:

An die Modbus-LoRaWAN-Box wird ein Messgerät als Modbus Slave Teilnehmer angebunden. Das Messgerät besitzt die Geräteadresse 1 und die identischen Schnittstellenparameter wie die Modbus-LoRaWAN-Box. Zur Überwachung wird ein Register verwendet, das vom Messgerät als Vergleicherguppe mit Hysterese-Funktion zur Verfügung steht und vom Anwender frei konfiguriert werden kann:

- Haltereister Startadresse 32510 (0x7EFE): Ausgang Vergleicherguppe 1 (ein 16-Bit signed integer Wert): Die Vergleicherguppe 1 wird zur Überwachung der drei Spannungen U_{L1-E} , U_{L2-E} , U_{L3-E} im Messgerät vorkonfiguriert. Das entsprechende Register wird vom Messgerät auf „1“ gesetzt, wenn mindestens einer der drei Spannungen den Sollwert von $230\text{ V} \pm 10\%$ über- oder unterschreitet. Bei Rückkehr in den Sollwertbereich wird das Register wieder auf „0“ zurückgesetzt. Dabei soll ein Alarm getriggert werden, wenn der Registerwert von „0“ \rightarrow „1“ oder von „1“ \rightarrow „0“ wechselt. Ein oszillieren des Registerwertes wird aufgrund eines Sollwertbereichs mit überlagerter Hysterese-Funktion unterbunden.

Die hierfür notwendige Modbus-Abfrage wird auf die Alarm ID 0 gespeichert. Der Datentyp des Registers ist ein vorzeichenbehafteter (signed) integer Wert (Datentyp: 0x01):

- Alarm ID 0: Modbus-Befehl ohne CRC-Prüfsumme: 01 03 7EFE 0001

Das LoRaWAN Downlink-Paket für die Modbus-Abfrage der Alarm ID 0 wird auf Port 1 gesendet: 01 0A 00 01 03 7EFE 0001 01

- 0x01: Function Control
- 0x0A: CmdID: Einstellen einer Alarm Modbus-Abfrage
- 0x00: Gewünschte Alarm ID
- 0x01: Modbus Geräteadresse
- 0x03: Modbus Funktionscode (0x03 \leftrightarrow Haltereister lesen)
- 0x7EFE: Modbus Startadresse des gewünschten Messwertes
- 0x0001: Anzahl der aufeinanderfolgenden Register (0x0001 \leftrightarrow Ein vorzeichenbehafteter 16-Bit integer Wert \rightarrow 1 Messwert)
- 0x01: Datentyp: Signed integer (vorzeichenbehaftete Ganzzahl)

Auf das LoRaWAN-Downlink-Paket antwortet die Modbus-LoRaWAN-Box mit folgendem Paket: 01 0A 00

- 0x01: Function Control
- 0x0A: CmdID: Einstellen der gewünschten Alarm Modbus-Abfrage
- 0x00: Status \rightarrow Okay

Sobald der Modbus-Befehl für das Alarm-Handling im System angelegt ist, erfolgt eine periodische Abfrage des angegebenen Registers. Die Periodendauer entspricht der Einstellung von Abschnitt 3.6.9. Wurde keine Periodendauer vom Anwender eingegeben, dann wird die Periodendauer 1 Sekunde (Werkseinstellung) verwendet. Liegt eine Abweichung zwischen zwei Abtastzeitpunkten vor, dann wird automatisch ein Alarm-Report gesendet. Werden alle Modbus-Alarme vom System gelöscht, dann wird das Alarm-Handling so lange unterbrochen, bis vom Anwender erneut ein Alarm-Register angelegt wird.

3.6.11. Factory Reset (Werkseinstellung)

Auf Anfrage können die Modbus-LoRaWAN-Boxen werkseitig vorkonfiguriert werden. Dies umfasst die Einstellung folgender Parameter:

- Periodendauer eines periodischen Reports
- Modbus-Abfragen eines periodischen Reports
- LoRaWAN Übertragungsmodus (confirmed/unconfirmed)
- LoRaWAN Datenrate
- Baudrate des RS-485 Feldbusses
- Schnittstellenparameter des RS-485 Feldbusses
- Alarm Modus-Abfragen, einschließlich Alarm-Periodendauer

Wurde das Gerät von uns vorkonfiguriert, dann ist es via LoRaWAN-Downlink-Paket möglich, die Modbus-LoRaWAN-Box auf Werkseinstellung zurück zu setzen. Diese Funktion ist nur gegeben, wenn eine vorkonfigurierte Variante bestellt worden ist!

Für einen Factory Reset muss ein Downlink-Paket auf dem LoRaWAN Port 1 gesendet werden. Das Paket enthält neben der Function Control (Fctrl.) und Command ID (CmdID) ein weiteres Byte zur Charakterisierung eines Factory Resets. Die nachfolgende Tabelle 23 beschreibt den Aufbau des Downlink-Pakets.

Fctrl	CmdID	Flag Factory Reset
01	0B	00/01

Tabelle 23: Downlink-Paket zur Durchführung eines Factory Resets

In analoger Weise wie beim Software-Reset (Abschnitt 3.6.8) hängt es davon ab, ob das Reset Byte im Downlink-Paket des Anwenders den Wert 0x01 oder 0x00 besitzt. Ist der Wert 0x01, dann erfolgt umgehend ein Factory Reset, ohne dass das Kommunikationsmodul eine Antwort sendet. Dabei wird das Gerät neu gestartet und die Parameter der Werkseinstellung geladen.

Sollte das Reset Byte des Downlink-Pakets (versehentlich) den Wert 0x00 haben, dann erfolgt kein Neustart des Kommunikationsmoduls und die Modbus-LoRaWAN-Box antwortet mit einem Uplink-Paket, entsprechend der Darstellung in Tabelle 5. Hat das darin enthaltene Status Byte den Wert **0x00**, dann wurde die Einstellung vom LoRaWAN Modul übernommen und der Anwender wird über die getätigte Operation informiert. Eine Antwort wird ebenfalls gesendet, wenn das Downlink-Paket in Tabelle 23 einen Fehler aufweist.

Folgende Antworten generiert das Kommunikationsmodul:

- 01 0B **00**: Der Befehl/ die Einstellung wurde erfolgreich übernommen
- 0C 0B **80**: Die angegebene Fctrl. (Beispiel 0x0C) wird nicht unterstützt
- 01 0D **81**: Die angegebene CmdID (Beispiel 0x0D) wird nicht unterstützt
- 01 0B **82**: Paketgröße des Downlink-Pakets ist ungleich 3 Byte
- 01 0B **83**: Der gültige Wertebereich des Flags wurde überschritten (Wert ungleich 0x00 oder 0x01)

4. Manuelle Registerabfragen via LoRaWAN

Neben der bisher beschriebenen Möglichkeit einer periodischen Übertragung von Messwerten / Registerinhalten im sogenannten Push-Betrieb ist es auch möglich, bestimmte Messwerte von Modbus-Teilnehmern manuell abzufragen. Diese Abfragen müssen vom Anwender durch ein LoRaWAN Downlink-Paket initiiert werden. Der Aufbau dieser Downlink-Pakete entspricht einer konventionellen Modbus-Abfrage.

Bitte überprüfen Sie vor einer manuellen Modbus-Abfrage, ob die physikalischen Schnittstellenparameter aller am Feldbus angebundener Geräte die gleichen Werte besitzen. Die Modbus-LoRaWAN-Box besitzt in der Werkseinstellung folgende Parameter:

- Baudrate: 19200 Baud
- Anzahl der Datenbits: 8 Bit
- Anzahl der Stoppbits: 1 Bit
- Parität: Keine

Eine manuelle LoRaWAN Modbus-Abfrage erfolgt wie folgt:

- **LoRaWAN Port: 2**
- Eingabe der Modbus-Abfrage **ohne CRC-Prüfsumme**

Die Modbus-LoRaWAN Box unterstützt folgende Modbus Funktionen:

- Read Holding Register (Funktionscode: 0x03)
- Read Input Register (Funktionscode: 0x04)
- Write Multiple Holding Register (Funktionscode: 0x10)

Um eine LoRaWAN Modbus Abfrage einfach durchführen zu können, wird der gewünschte Modbus-Befehl **ohne Prüfsumme** eingegeben, wohingegen die Antwort vom Zähler immer vollständig mit CRC-Prüfsumme übertragen wird!

Bitte berücksichtigen Sie, dass die LoRaWAN Paketgröße auf 51 Byte beschränkt ist. Aus diesem Grund können Modbus Antworten nur dann vom LoRaWAN Modul übertragen werden, wenn diese in ein einzelnes LoRaWAN Paket passen. Wird die maximale Paketgröße überschritten, dann wird eine Fehlermeldung (Exception 0x81) übertragen (siehe Beschreibung unten).

Hinweise:

- Die Antwort auf eine manuelle Registerabfrage wird ebenfalls auf dem **LoRaWAN Port 2** übertragen.
- Die periodischen Modbus-Reports werden durch manuelle Abfragen nicht beeinflusst und laufen normal weiter.
- Bitte beachten Sie vor allem bei Schreibbefehlen (Write Multiple Holding Register, Funktionscode 0x10) darauf, dass nur gültige Werte in die dafür vorgesehenen Register geschrieben werden. Andernfalls kann unter Umständen der Funktionsablauf angeschlossener Feldbusteilnehmer gestört werden!

4.1. Beispiele

Beispiel 1:

Manuelles Lesen der Haltereister 0x4A38 (Spannung U_{L1-E}) und 0x4A3A (Spannung U_{L2-E}) eines angebandenen Messgerätes mit Hilfe eines Modbus-Befehls:

- Modbus Befehl auf LoRaWAN Port 2: 01 03 4A38 0004
 - 0x01: Modus-Geräteadresse
 - 0x03: Modbus-Funktionscode
 - 0x4A38: Startadresse des ersten, zu lesenden Registers
 - 0x0004: Anzahl der zu lesenden Register
- Modbus Antwort auf LoRaWAN Port 2: 01 03 08 436CF884 436F0FD5 79A4
 - 0x01: Modbus Geräteadresse
 - 0x03: Modbus-Funktionscode
 - 0x08: Anzahl der Datenbytes (Anzahl Register x 2)
 - 0x436CF884: Erster Messwert => $U_{L1-E} = 236,970$ V
 - 0x436F0FD5: Zweiter Messwert => $U_{L2-E} = 239,062$ V
 - 0x79A4: CRC Prüfsumme

Beispiel 2:

Manuelles Lesen des Eingaberegisters 0x0019 (Wirkleistung L_1) eines angebandenen Messgerätes:

- Modbus Befehl auf LoRaWAN Port 2: 01 04 0019 0002
 - 0x01: Modus-Geräteadresse
 - 0x04: Modbus-Funktionscode
 - 0x0019: Startadresse des ersten, zu lesenden Registers
 - 0x0002: Anzahl der zu lesenden Register
- Modbus Antwort auf LoRaWAN Port 2: 01 04 04 46785628 516B
 - 0x01: Modbus Geräteadresse
 - 0x04: Modbus-Funktionscode
 - 0x04: Anzahl der Datenbytes (Anzahl Register x 2)
 - 0x46785628: Messwert: 15893.53 W
 - 0x516B: CRC Prüfsumme

Hinweise: Wie in den Beispielen gezeigt, können sämtliche Modbus-Abfragen manuell durchgeführt werden. Mit diesem Mechanismus ist es möglich, Modbus-Abfragen im Vorfeld manuell zu testen, bevor diese in periodische Reports oder Alarm-Reports eingebunden werden. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, Registerwerte von angeschlossenen Teilnehmern zu schreiben. Die entsprechenden Modbus Adressen angeschlossener Busteilnehmer müssen den jeweiligen Datenblättern der Hersteller entnommen werden und sind nicht Gegenstand dieser Anleitung!

Wird keine gültige Modbus-Antwort auf eine manuelle Modbus-Abfrage empfangen, dann sind die Schnittstellenparameter und die Geräteadresse des betreffenden Teilnehmers zu überprüfen!

4.2. Fehlermeldungen/Exceptions

Entsprechend der Modbus-Spezifikation werden Fehlermeldungen (Exceptions 81h) ausgegeben, wenn auf ungültige Register zugegriffen wird, falsche Funktionscodes verwendet oder ungültige Datenwerte in Register geschrieben werden. Im Fall von LoRaWAN wurden diese Fehlermeldungen (Exceptions) um nachfolgend beschriebene Fehlercodes erweitert (siehe Tabelle 24).

Gemäß der Modbus-Spezifikation kennzeichnet das erste Byte der Fehlermeldung die Modbus-Adresse des Feldbusteilnehmers, wohingegen das zweite Byte stets den Wert 0x81 aufweist (Fehlermeldung). Das dritte Byte gibt den eigentlichen Fehlercode an und die letzten beiden Bytes entsprechen der CRC-Prüfsumme der Fehlermeldung.

Fehlercode	Beschreibung	Beispiel
0x0C	Modbus-Antwort passt nicht in ein LoRaWAN Paket (Paketgröße > 51 Byte)	01 81 0C 40 55
0x0D	Unbekannte oder ungültige Modbus-Antwort vom Busteilnehmer	01 81 0D 81 95

Tabelle 24: Erweiterung der Fehlermeldungen (Exceptions) in der Modbus-LoRaWAN-Box

Hinweis: Ist es erforderlich, dass mehrere aufeinanderfolgende Register mit mehr als 51 Byte Paketinhalt (Modbus Antwort) übertragen werden sollen, dann müssen die manuellen Abfragen vom Anwender auf mehrere Modbus Befehle aufgeteilt werden.

*Die in dieser Beschreibung veröffentlichten Inhalte sind urheberrechtlich geschützt. Übersetzungen, Nachdruck, Vervielfältigung sowie Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bedürfen der ausdrücklichen Genehmigung.
Der Inhalt dieser Beschreibung und die technischen Spezifikationen können ohne vorherige Ankündigung ergänzt, geändert oder entfernt werden. Die Beschreibung der Produktspezifikation stellt keinen Vertragsbestandteil dar.*