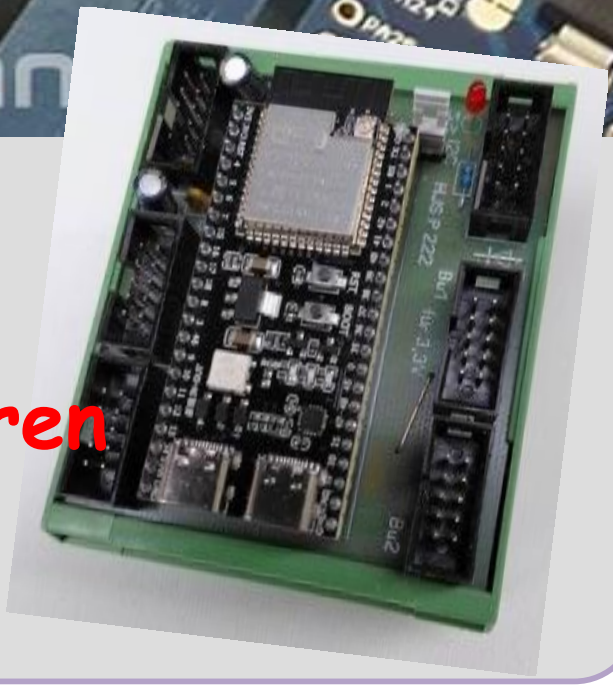
Mikrokontroller & I²C Bus

by AS

www.makerconnect.de

https://www.makerconnect.de/resource

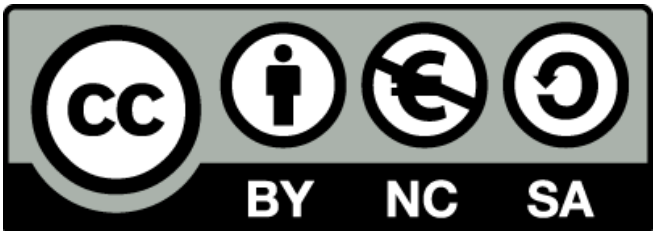


ESP32 - S3

Teil 31 - Sensoren mit LoRa

Copyright

Sofern nicht anders angegeben, stehen die Inhalte dieser Dokumentation unter einer „Creative Commons - Namensnennung-NichtKommerziell-Weitergabe unter gleichen Bedingungen 3.0 DE Lizenz“



Sicherheitshinweise

Lesen Sie diese Gebrauchsanleitung, bevor Sie diesen Bausatz in Betrieb nehmen und bewahren Sie diese an einem für alle Benutzer jederzeit zugänglichen Platz auf. Bei Schäden, die durch Nichtbeachtung dieser Bedienungsanleitung verursacht werden, erlischt die Gewährleistung / Garantie. Für Folgeschäden übernehmen wir keine Haftung! Bei allen Geräten, die zu ihrem Betrieb eine elektrische Spannung benötigen, müssen die gültigen VDE-Vorschriften beachtet werden. Besonders relevant sind für diesen Bausatz die VDE-Richtlinien VDE 0100, VDE 0550/0551, VDE 0700, VDE 0711 und VDE 0860. Bitte beachten Sie auch nachfolgende Sicherheitshinweise:

- Nehmen Sie diesen Bausatz nur dann in Betrieb, wenn er zuvor berührungssicher in ein Gehäuse eingebaut wurde. Erst danach darf dieser an eine Spannungsversorgung angeschlossen werden.
- Lassen Sie Geräte, die mit einer Versorgungsspannung größer als 24 V- betrieben werden, nur durch eine fachkundige Person anschließen.
- In Schulen, Ausbildungseinrichtungen, Hobby- und Selbsthilfewerkstätten ist das Betreiben die-ser Baugruppe durch geschultes Personal verantwortlich zu überwachen.
- In einer Umgebung in der brennbare Gase, Dämpfe oder Stäube vorhanden sind oder vorhanden sein können, darf diese Baugruppe nicht betrieben werden.
- Im Falle eine Reparatur dieser Baugruppe, dürfen nur Original-Ersatzteile verwendet werden! Die Verwendung abweichender Ersatzteile kann zu ernsthaften Sach- und Personenschäden führen. Eine Reparatur des Gerätes darf nur von fachkundigen Personen durchgeführt werden.
- Spannungsführende Teile an dieser Baugruppe dürfen nur dann berührt werden (gilt auch für Werkzeuge, Messinstrumente o.ä.), wenn sichergestellt ist, dass die Baugruppe von der Versor-gungsspannung getrennt wurde und elektrische Ladungen, die in den in der Baugruppe befindlichen Bauteilen gespeichert sind, vorher entladen wurden.
- Sind Messungen bei geöffnetem Gehäuse unumgänglich, muss ein Trenntrafo zur Spannungsver-sorgung verwendet werden
- Spannungsführende Kabel oder Leitungen, mit denen die Baugruppe verbunden ist, müssen immer auf Isolationsfehler oder Bruchstellen kontrolliert werden. Bei einem Fehler muss das Gerät un-verzüglich ausser Betrieb genommen werden, bis die defekte Leitung ausgewechselt worden ist.
- Es ist auf die genaue Einhaltung der genannten Kenndaten der Baugruppe und der in der Baugruppe verwendeten Bauteile zu achten. Gehen diese aus der beiliegenden Beschreibung nicht hervor, so ist eine fachkundige Person hinzuzuziehen

Bestimmungsgemäße Verwendung

- Auf keinen Fall darf 230 V~ Netzspannung angeschlossen werden. Es besteht dann Lebensgefahr!
- Dieser Bausatz ist nur zum Einsatz unter Lern- und Laborbedingungen konzipiert worden. Er ist nicht geeignet, reale Steuerungsaufgaben jeglicher Art zu übernehmen. Ein anderer Einsatz als angegeben ist nicht zulässig!
- Der Bausatz ist nur für den Gebrauch in trockenen und sauberen Räumen bestimmt.
- Wird dieser Bausatz nicht bestimmungsgemäß eingesetzt kann er beschädigt werden, was mit Ge-fahren, wie z.B. Kurzschluss, Brand, elektrischer Schlag etc. verbunden ist. Der Bausatz darf nicht geändert bzw. umgebaut werden!
- Für alle Personen- und Sachschäden, die aus nicht bestimmungsgemäßer Verwendung entstehen, ist nicht der Hersteller, sondern der Betreiber verantwortlich. Bitte beachten Sie, dass Bedien- und /oder Anschlussfehler außerhalb unseres Einflussbereiches liegen. Verständlicherweise können wir für Schäden, die daraus entstehen, keinerlei Haftung übernehmen.
- Der Autor dieses Tutorials übernimmt keine Haftung für Schäden. Die Nutzung der Hard- und Software erfolgt auf eigenes Risiko.

ESP32 – S3 Teil 31 – Sensoren mit LoRa

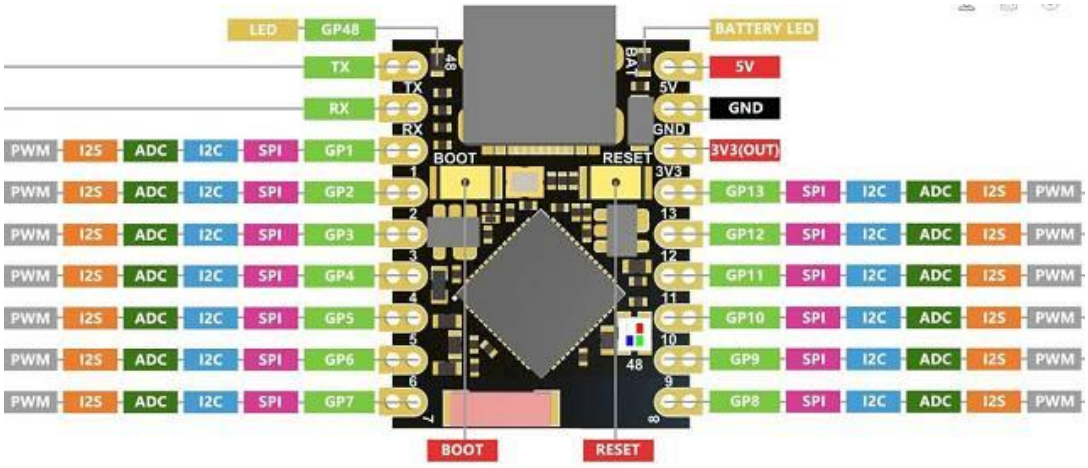
Der Sensorknoten mit ESP32-S3 und SX 1262 (LoRa)

Kurze Einführung

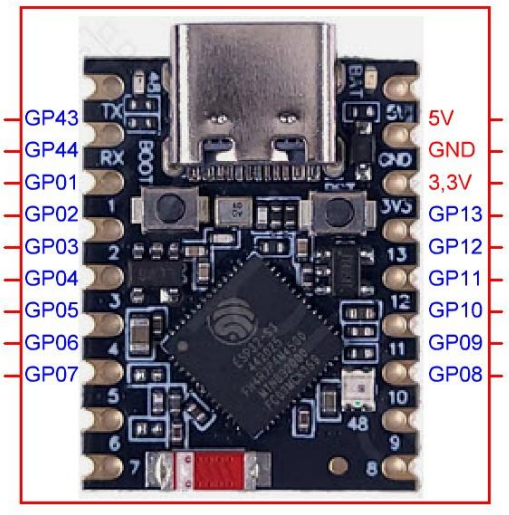
Ein intelligenter Sensorknoten besteht im Wesentlichen aus einem Mikrocontroller, den angeschlossenen Sensoren und einem Funkmodul. In unserem Aufbau übernimmt der ESP32-S3 Super Mini die Verarbeitung der Messwerte. Das SX1262-LoRa-Modul ermöglicht die drahtlose Übertragung an eine entfernte Empfangsstation.
Für unser Tutorial beschränken wir uns zunächst auf diese beiden Baugruppen und ihre Hardwareverbindung. Die ausführliche Beschreibung des ESP32-S3, die technischen Eigenschaften des SX1262 und die Grundlagen der LoRa-Funktechnik würden den Rahmen dieses praktischen Einstiegs überschreiten.
Wer die technischen Hintergründe, die Funktionsweise der einzelnen Baugruppen und die Entwicklung eines vollständigen intelligenten LoRa-Systems kennenlernen möchte, findet diese ausführlich im zugehörigen Buch.

Der ESP32-S3 Super Mini

Als Mikrocontroller verwenden wir den ESP32-S3 Super Mini mit 16 MB Flash-Speicher und 8 MB PSRAM. Seine kompakte Bauform eignet sich besonders für kleine Sensorknoten.
Das Board stellt die benötigten Ein- und Ausgänge bereit und übernimmt später die Erfassung und Verarbeitung der Sensorwerte sowie die Steuerung des Funkmoduls.



ESP32-S3 Super Mini mit seinen GPIOs

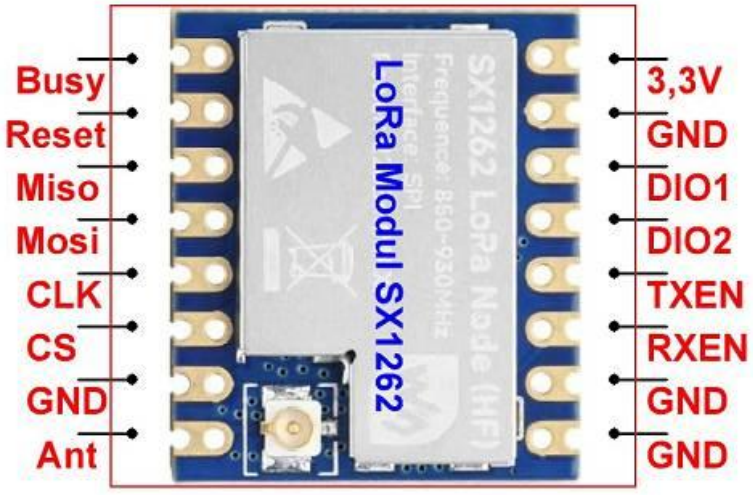


ESP32-S3 Super Mini mit den wichtigsten Anschlüssen.

Das SX1262-LoRa-Modul

Für die Funkverbindung verwenden wir ein Entwicklungsmodul mit dem LoRa-Transceiver SX1262 von Semtech. Das Modul übernimmt das Senden und Empfangen der Daten und wird vom ESP32-S3 gesteuert.
Neben der Spannungsversorgung benötigt es die SPI-Verbindung und zusätzliche Steuerleitungen. Für den Betrieb im europäischen Frequenzbereich verwenden wir eine geeignete 868-MHz-Antenne.

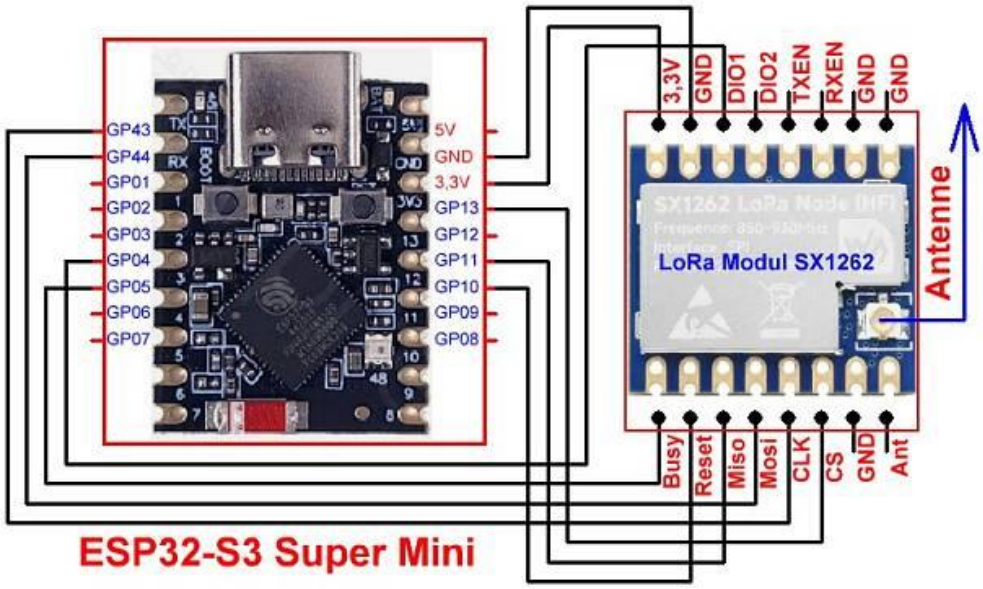
Das verwendete SX1262-LoRa-Modul.

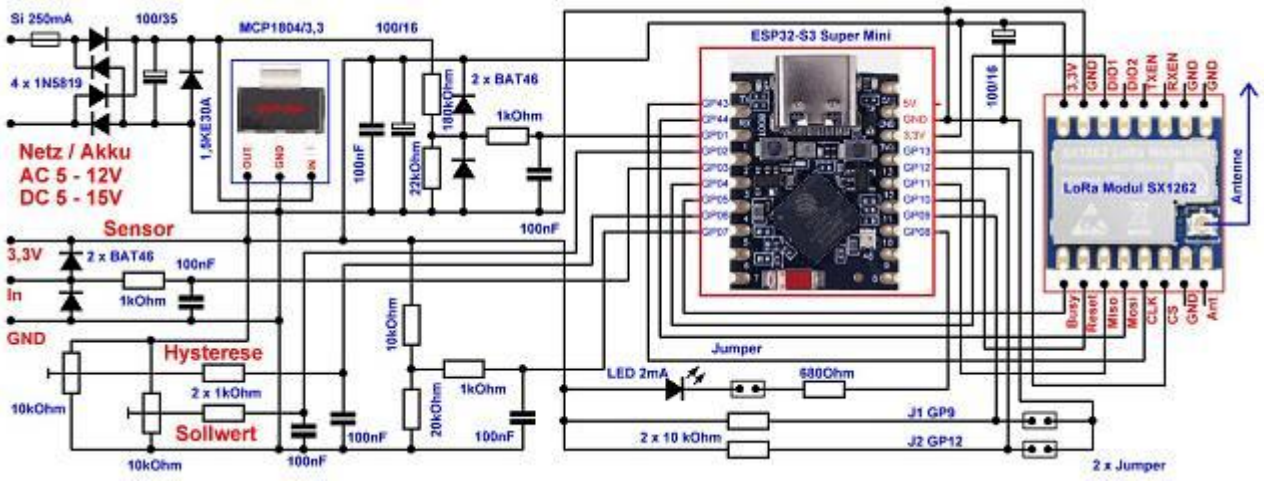


Verbindung der beiden Baugruppen

Nachdem wir die beiden Komponenten kennengelernt haben, verbinden wir sie miteinander. Dazu gehören die Versorgungsspannung, Masse, die SPI-Signale und die zusätzlichen Steuerleitungen des SX1262.
Im nächsten Schritt erstellen wir den Verdrahtungsplan und ordnen jedem Signal den entsprechenden GPIO des ESP32-S3 Super Mini zu.
Damit entsteht die Hardwaregrundlage unseres Sensorknotens. Die Sensorplatine mit ihren fünf analogen Eingängen ergänzen wir anschließend.

Verbindung ESP32-S3 mit LoRa Modul SX1262





Die Sensorplatine für den ESP32-S3-Sensorknoten

Die Abbildung zeigt die vollständige Hardware unseres Sensorknotens. Neben dem ESP32-S3 Super Mini und dem bereits vorgestellten SX1262-LoRa-Modul enthält die Platine die Spannungsversorgung, die Eingangsschaltungen für die Sensoren sowie Einstell- und Anzeigeelemente.
Wir betrachten die einzelnen Schaltungsbereiche nacheinander. Dabei steht zunächst die Hardware im Vordergrund: Welche Aufgabe übernimmt jede Baugruppe, wie funktioniert sie grundsätzlich und warum wird sie benötigt?

Versorgungseingang mit Schutzschaltung

Im linken oberen Bereich der Schaltung befindet sich der Anschluss für die externe Spannungsversorgung. Vorgesehen sind Wechselspannungen von 5–12 V AC oder Gleichspannungen von 5–15 V DC. Die Eingangsschaltung bereitet die zugeführte Spannung für die nachfolgende Spannungsregelung auf und schützt die Elektronik vor möglichen Störungen und Fehlern.
Am Eingang befindet sich eine Sicherung mit einem Nennstrom von 250 mA. Sie begrenzt die Folgen eines Fehlerstroms und schützt die Schaltung vor einer Überlastung. Die vier Schottky-Dioden 1N5819 bilden eine Gleichrichterschaltung, mit der auch eine Wechselspannung zur Versorgung verwendet werden kann. Bei Gleichspannung wird die Polarität entsprechend der vorgesehenen Schaltung berücksichtigt.
Ein weiterer wichtiger Bestandteil ist die Suppressordiode 1,5KE30A. Sie dient dem Überspannungsschutz und begrenzt kurzzeitige Spannungsspitzen, wie sie beispielsweise durch Schaltvorgänge oder Störungen auf der Versorgungsleitung entstehen können. Bei einer ausreichend hohen Spannung wird die Diode leitend und leitet den Impulsstrom ab. Dadurch werden die nachfolgenden Schaltungsbereiche vor gefährlichen Spannungsspitzen geschützt.
Die Kondensatoren am Ausgang der Eingangsschaltung glätten die gleichgerichtete Spannung und reduzieren Spannungsschwankungen. Damit erhält der nachfolgende Spannungsregler eine möglichst gleichmäßige Eingangsspannung.

Die Schutzmaßnahmen erfüllen unterschiedliche Aufgaben: Die Sicherung begrenzt die Folgen eines Überstroms, die Gleichrichterdioden ermöglichen die vorgesehene Gleichrichtung, und die Suppressordiode begrenzt kurzzeitige Überspannungsimpulse.
Aufgabe dieser Baugruppe: Sie bildet den geschützten Versorgungseingang der Sensorplatine und bereitet die Eingangsspannung für die anschließende 3,3-V-Spannungsregelung vor.

Die 3,3-V-Spannungsregelung

Im oberen linken Bereich ist der Spannungsregler MCP1804/3,3 eingezeichnet. Er stellt die Versorgungsspannung von 3,3 V für die Elektronik bereit.
Der Regler wandelt die höhere Eingangsspannung in eine stabile Ausgangsspannung um. Diese 3,3 V werden für den ESP32-S3 Super Mini, das SX1262-Modul und die zugehörigen Schaltungen benötigt.
Am Ein- und Ausgang befinden sich Kondensatoren zur Stabilisierung der Versorgung. Sie gleichen kurzfristige Spannungsschwankungen aus und unterdrücken Störungen. Gerade beim Senden mit dem SX1262 ist eine stabile Versorgung wichtig, da der Strombedarf während des Sendens ansteigt.
Zusätzlich sind Widerstände und BAT46-Dioden eingezeichnet. Sie gehören zur ergänzenden Beschaltung der Versorgung und der zugehörigen Signale.
Aufgabe dieser Baugruppe: Sie stellt die benötigte 3,3-V-Versorgung für den Sensorknoten bereit.

Die Sensoreingangsschaltung mit Schutzbeschaltung

Im linken mittleren Bereich befindet sich der eigentliche Sensoreingang. Er besitzt drei Anschlüsse:

- 3,3 V: Versorgung für einen geeigneten Sensor.
- In: Analoge Eingangsspannung des Sensors.
- GND: Gemeinsamer Masseanschluss.

Die Eingangsschaltung ist für Sensorsignale im 3,3-V-Bereich vorgesehen. Die Spannung am Anschluss „In" wird dem ESP32-S3 zur Messung zugeführt.
Damit der Mikrocontroller vor Störungen und unerwünschten Spannungen geschützt wird, sind mehrere Schutz- und Filterbauteile vorgesehen.
Zwei BAT46-Schottky-Dioden dienen der Spannungsbegrenzung. Der in Reihe liegende Widerstand mit 1 kΩ begrenzt den Strom bei entsprechenden Fehler- oder Überspannungsfällen. Der Kondensator mit 100 nF bildet zusammen mit dem Widerstand einen Tiefpass, der schnelle Störungen am Eingang abschwächt.
Die Schutzwirkung hängt von der konkreten Beschaltung und den auftretenden Spannungen ab. Insbesondere darf eine Eingangsspannung von mehr als 3,3 V nicht ohne geeignete Anpassung an den ADC angeschlossen werden.
Aufgabe dieser Baugruppe: Sie stellt einen geschützten und gefilterten Analogeingang für den Sensor bereit.

Die Sollwertschaltung

Im unteren linken Bereich ist die mit „Sollwert" bezeichnete Schaltung dargestellt. Sie erzeugt eine einstellbare Spannung, die vom ESP32-S3 als analoger Wert eingelesen werden kann.
Der Sollwert gibt vor, welcher Wert für eine Regelungs- oder Überwachungsaufgabe angestrebt wird. Bei einer Temperaturüberwachung könnte dies beispielsweise die gewünschte Temperatur sein. Bei einer Füllstandsüberwachung kann ein bestimmter Füllstand als Sollwert dienen.
Die Widerstände bilden die Einstell- und Spannungsteilerschaltung. Die Kondensatoren mit 100 nF dienen der Filterung und stabilisieren die Spannung am Messpunkt.
Der ESP32-S3 kann den eingestellten Sollwert später mit dem tatsächlich gemessenen Sensorwert vergleichen. Die eigentliche Auswertung erfolgt im Programm.
Aufgabe dieser Baugruppe: Sie stellt einen einstellbaren analogen Sollwert für den Mikrocontroller bereit.

Die Hystereseschaltung

Direkt oberhalb der Sollwertschaltung befindet sich der mit „Hysterese" bezeichnete Bereich. Eine Hysterese verhindert, dass eine Schaltfunktion bei einem Messwert nahe der Schaltschwelle ständig zwischen EIN und AUS wechselt. Das kann beispielsweise auftreten, wenn ein Sensorwert geringfügig schwankt.

Ein Beispiel ist eine Temperaturüberwachung: Bei Erreichen einer oberen Temperaturgrenze wird eine Reaktion ausgelöst. Sie wird erst wieder aufgehoben, wenn die Temperatur ausreichend weit unter die Grenze gefallen ist.
In der dargestellten Schaltung sind Widerstände und Kondensatoren für die Einstellung und Filterung der entsprechenden analogen Signale vorgesehen. Der ESP32-S3 kann diese Werte erfassen und zur Umsetzung einer Hysteresefunktion verwenden.

Wichtig ist die Unterscheidung: Die Bauteile zur Sollwert- und Hystereseeinstellung liefern die Einstellwerte. Das eigentliche Schaltverhalten muss entsprechend der vorgesehenen Schaltungsfunktion beziehungsweise im Mikrocontroller umgesetzt werden.
Aufgabe dieser Baugruppe: Sie ermöglicht die Einstellung der Hysterese für eine stabile Überwachung von Grenzwerten.

Die LED-Anzeige

Im unteren mittleren Bereich befindet sich eine LED mit einem Vorwiderstand von 680 Ω. Sie dient als optische Statusanzeige des Sensorknotens.
Der Mikrocontroller kann die LED beispielsweise einschalten, wenn ein bestimmter Betriebszustand erreicht ist. Denkbar sind eine Anzeige für den normalen Betrieb, eine aktive Messung oder eine andere definierte Funktion.
Der Vorwiderstand begrenzt den Strom durch die LED und schützt sie vor Überlastung. Die Beschriftung „LED 2 mA" weist auf den vorgesehenen Betriebsstrom hin.
Die genaue Funktion der LED wird durch die Hardwareverbindung und das spätere Programm bestimmt. Aufgabe dieser Baugruppe: Sie ermöglicht eine einfache optische Rückmeldung über den Zustand des Sensorknotens.

Die Jumper J1 und J2

Im unteren rechten Bereich sind zwei Jumper mit den Bezeichnungen J1 und J2 eingezeichnet. Sie sind den GPIO-Anschlüssen GPIO9 und GPIO12 des ESP32-S3 zugeordnet.
Die Jumper ermöglichen eine flexible Konfiguration der vorgesehenen Anschlüsse. Welche Funktion sich durch das Stecken oder Entfernen eines Jumpers genau ändert, sollte anhand der vollständigen Verdrahtung bzw. durch die Software festgelegt werden.
Aufgabe dieser Baugruppe: Sie ermöglicht eine umschaltbare Verbindung der vorgesehenen GPIO-Signale.

Überwachung der Versorgungsspannungen – GP1 und GP7

Ein wichtiger Bestandteil des Sensorknotens ist die Möglichkeit, seine eigene Spannungsversorgung zu überwachen.
Dafür verwenden wir zwei analoge Eingänge des ESP32-S3 Super Mini:
GPIO1 zur Überwachung der Eingangsspannung und GPIO7 zur Überwachung der geregelten 3,3-V-Versorgung.
Diese beiden Messkanäle ermöglichen es dem Mikrocontroller, nicht nur die angeschlossenen Sensoren, sondern auch die eigene Betriebssicherheit im Blick zu behalten.

Überwachung der Eingangsspannung über GPIO1

Die Eingangsspannung der Sensorplatine kann je nach angeschlossener Spannungsquelle variieren. Sinkt sie beispielsweise durch eine schwächer werdende Batterie oder eine Überlastung ab, kann dies die zuverlässige Funktion des gesamten Sensorknotens beeinträchtigen.
Über GPIO1 erfasst der ESP32-S3 deshalb die Eingangsspannung. Da der Mikrocontroller nur Spannungen innerhalb seines zulässigen ADC-Eingangsbereichs messen darf, muss die höhere Eingangsspannung über eine geeignete Messschaltung angepasst werden.
Der Mikrocontroller kann den erfassten Wert anschließend mit festgelegten Grenzwerten vergleichen. Bei einer zu niedrigen Eingangsspannung kann er beispielsweise eine Warnung erzeugen, die Messintervalle anpassen oder den Zustand bei der nächsten Funkübertragung melden.

Überwachung der 3,3-V-Versorgung über GPIO7

Die zweite Überwachung betrifft die geregelte Betriebsspannung. Der Spannungsregler MCP1804/3,3 stellt die 3,3 V bereit, die der ESP32-S3 und das SX1262-LoRa-Modul benötigen. Über GPIO7 überwacht der Mikrocontroller diese Versorgungsspannung. Sinkt sie außerhalb des zulässigen Bereichs, kann dies auf eine Überlastung, einen Fehler des Spannungsreglers oder einen Einbruch der Versorgung hinweisen. Auch hier muss die Messspannung für den ADC geeignet sein. Bei einer direkten Messung der 3,3-V-Schiene sind die zulässige ADC-Spannung und die Eigenschaften des ADC zu berücksichtigen.

Selbstüberwachung und Eigensicherheit

Durch diese beiden Messkanäle erhält der Sensorknoten eine einfache Form der Selbstüberwachung. Er kontrolliert nicht nur die äußeren Messgrößen, sondern prüft auch, ob seine eigene Energieversorgung innerhalb der vorgesehenen Grenzen liegt.
Das ist besonders bei einem autonom arbeitenden LoRa-Sensorknoten wichtig, der möglicherweise an einem schwer zugänglichen Ort betrieben wird. Eine Störung der Versorgung kann so erkannt und – sofern der Mikrocontroller noch zuverlässig arbeitet – als Status- oder Fehlermeldung übermittelt werden.
Unter Eigensicherheit verstehen wir in diesem Zusammenhang, dass der Sensorknoten Versorgungsfehler erkennen und geeignete Schutzreaktionen einleiten kann. Dazu gehören beispielsweise das Kennzeichnen ungültiger Messwerte, das Unterlassen einer unzuverlässigen Messung oder das kontrollierte Beenden nicht notwendiger Funktionen.
Zusammengefasst: GPIO1 überwacht die Eingangsspannung, GPIO7 kontrolliert die geregelte 3,3-V-Versorgung. Zusammen ermöglichen sie dem ESP32-S3, den eigenen Betriebszustand zu beurteilen und Versorgungsprobleme frühzeitig zu erkennen.

Übersicht der Baugruppen

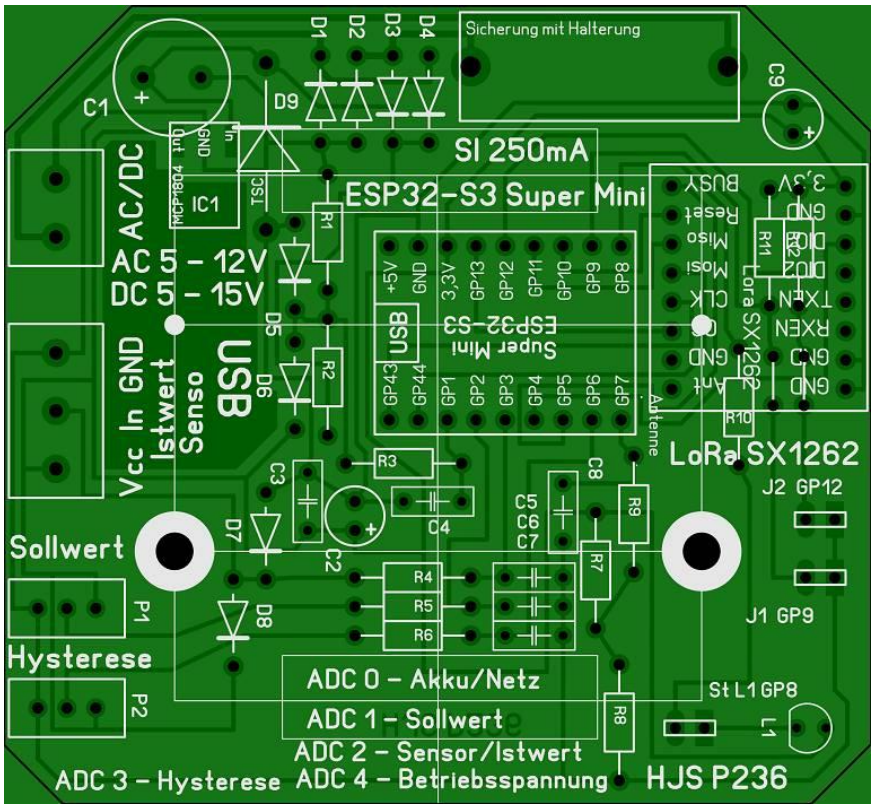
Baugruppe	Aufgabe
Versorgungseingang	Anschluss einer externen Spannungsquelle mit 5–12 V AC oder 5–15 V DC gemäß Schaltplan
Eingangsschutz	Sicherung, Gleichrichter- beziehungsweise Verpolungsschutz und Überspannungsschutz durch die 1,5KE30A
3,3-V-Spannungsregler	Erzeugung der Betriebsspannung für den ESP32-S3 und das SX1262-Modul
Sensoreingang	Erfassung einer analogen Sensorspannung mit Schutz- und Filterbeschaltung

Sollwertschaltung	Einstellung eines analogen Sollwertes
Hystereseeinstellung	Einstellung eines Hysteresewertes für die Grenzwertüberwachung
LED	Optische Statusanzeige
Jumper J1 und J2	Konfigurierbare Verbindungen zu GPIO9 und GPIO12
Spannungsüberwachung über GPIO1	Erfassung der Eingangsspannung der Sensorplatine
Spannungsüberwachung über GPIO7	Kontrolle der geregelten 3,3-V-Versorgung

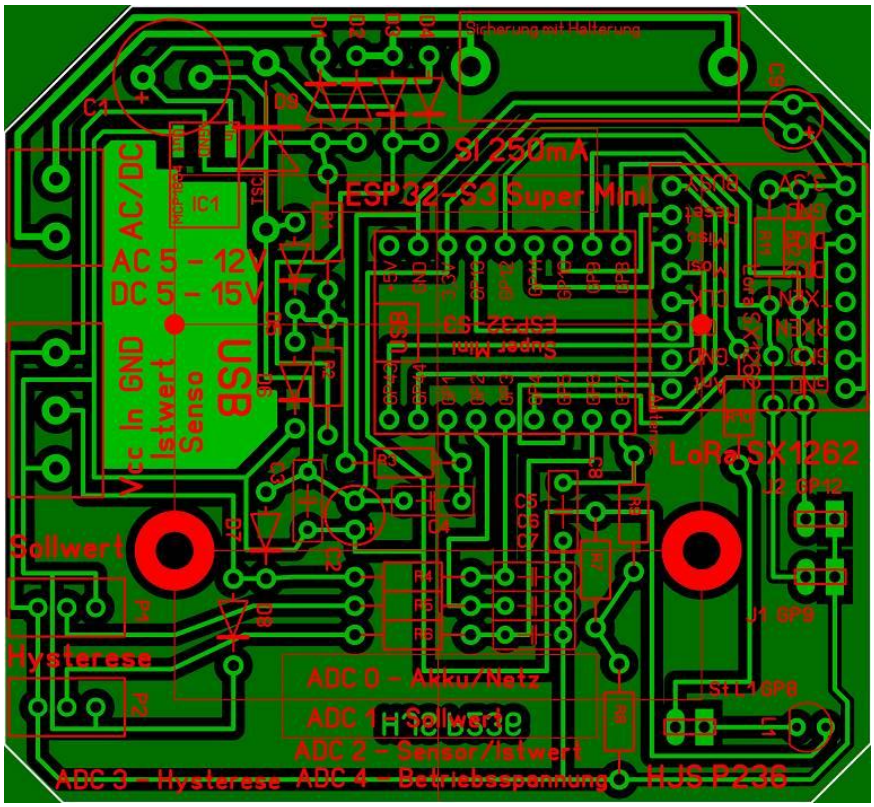
GPIO-Belegung der Sensormoduls

GPIO	Anschluss / Funktion	Verwendung
GPIO 1	Eingangsspannungsmessung	Überwachung der Eingangsspannung
GPIO 2	Sollwertmessung	Analoge Erfassung des Sollwerts
GPIO 3	Sensormessung	Analoge Erfassung des Sensorwerts
GPIO 4	SX1262 DIO1	Meldung von Ereignissen des Funkmoduls
GPIO 5	SX1262 BUSY	Statussignal des Funkmoduls
GPIO 6	Hysteresemessung	Analoge Erfassung der Hysterese
GPIO 7	3,3-V-Messung	Überwachung der Versorgungsspannung
GPIO 8	LED Statusanzeige	
GPIO 9	Jumper J1	Konfigurationseingang
GPIO 10	SX1262 RESET	Zurücksetzen des Funkmoduls
GPIO 11	SX1262 MISO	Daten vom Funkmodul zum ESP32-S3
GPIO 12	Jumper J2	Konfigurationseingang
GPIO 13	SX1262 CS	Auswahl des Funkmoduls am SPI-Bus
GPIO 43	SX1262 SCK	SPI-Taktsignal
GPIO 44	SX1262 MOSI	Daten vom ESP32-S3 zum Funkmodul

Platine P 236 in der Fotoansicht



Platine P 236 in der Durchsicht mit Leiterzügen



Platine P 236 komplett bestückt mit ESP32-S3 SM und SX 1262 (LoRa)



Platine P 236 eingebaut in eine Hensel Abzweigdose vom Typ DK 0200 GZ in der Ausführung IP66



Kompletter LoRa Sensorfühler in einer Hensel Abzweigdose

Oben: Antenne für das Lora Modul

Unten: Anschluss für den Sensor und Netzteil oder Batterie



Einige Teile des Textes wurden zur besseren Übersicht farblich gestaltet.
Die Nutzung erfolgt auf eigenes Risiko. Ich wünsche viel Spaß beim Bauen und programmieren

Achim

Auf der Seite https://www.platinencenter.de/de/ können unterschiedliche Platinen mit Angabe der **Nr**. bestellt werden:

P 222 – Grundplatine mit ESP32-S3
P 111 - Platine mit 16 LEDs
P 113a - Platine mit 8 Taster und 8 LEDs
P 119 – Platine mit 5 Taster und Poti
P 134 - Encoder
P 131 – RGB LED mit Poti, NTC und LDR
P 132a – SPI TFT Display 2,8" mit Touch
P 173 – SPI TFT Display 4" mit Touch
P 102 – Schrittmotorsteuerung mit dem TMC 2130
P 171 – Schrittmotorsteuerung mit dem A 4988
P 234 – Schrittmotorsteuerung mit dem DRV 8825
P 103a – BLDC Motor mit TMC 6300
P 236 – Sensorplatine mit ESP32-S3 und SX 1262 (LoRa)

Die Platine P132a und P173 kann sowohl für das SPI-TFT-Display als auch für die Touch-Version des Displays verwendet werden.

Alle Platinen sind hinsichtlich ihrer Abmessungen (Höhe), der Anordnung und des Rasters der Buchsenleisten sowie der Pinbelegung aufeinander abgestimmt. Dadurch lassen sie sich direkt miteinander verbinden und passen mechanisch und elektrisch zueinander.