

T-Echo Card: Stromverbrauch und Anwendungskalkulation

Konsolidierte Planungswerte für nRF52840, SX1262, GNSS, IMU, Speicher, OLED, RGB-LEDs, Audio, Spannungsversorgung und Solarpanel. Stand: 27. Juli 2026.
Alle blauen Quellenmarker und Einträge im Quellenverzeichnis sind anklickbar.

Leseregel: „Datenblatt“ bezeichnet einen Komponentenwert unter definierten Testbedingungen. „Abgeleitet“ ist aus Datenblattwerten berechnet. „Referenzmodul“ und „Schätzung“ sind keine bestätigten Messwerte des vollständigen T-Echo-Card-Boards. Für die finale Auslegung ist eine Strommessung am Akkuanschluss erforderlich.

1. Prozessor und Funk

Komponente	Betriebszustand	Strom	24-h-/Ereigniswert	Einsatz- und Kalkulationshinweis	Quelle	Status
nRF52840	System OFF, kein RAM-Erhalt	0,4 µA	0.010 mAh	Niedrigster SoC-Schlafzustand. GPIO-Wakeup möglich; RTC läuft hier nicht. Der vollständige Boardstrom liegt höher.	[2]	Datenblatt
nRF52840	System ON, RTC-Wakeup	1,5 µA	0.04 mAh	Geeignet für zeitgesteuertes Aufwecken. Wert gilt nur für den SoC, nicht für Regler und Peripherie.	[2]	Datenblatt
nRF52840	CPU 64 MHz aktiv	ca. 3,33 mA	79.9 mAh	Aus ca. 52 µA/MHz abgeleitet. Nur mit CPU-Einschaltdauer gewichten; bei 1 % Duty Cycle ca. 0,033 mA im Mittel.	[2]	abgeleitet
nRF52840	Bluetooth LE RX	ca. 4,6 mA Spitze	110.4 mAh	BLE empfängt typischerweise nur in kurzen Ereignissen/Fenstern. Nicht als Dauerstrom ansetzen, außer bei tatsächlichem Dauer-RX.	[2]	Datenblatt
nRF52840	Bluetooth LE TX, 0 dBm	ca. 4,8 mA Spitze	115.2 mAh	Mit Airtime und Sendeintervall gewichten. Der 2,4-GHz-Funkblock wird auch für Thread/Zigbee/802.15.4 genutzt.	[2]	Datenblatt
SX1262	Cold Sleep	0,16 µA	0.004 mAh	Minimaler Funkchip-Ruhestrom; Konfiguration geht verloren. Kein Empfang und kein Funk-Wakeup.	[3]	Datenblatt
SX1262	Warm Sleep	0,6 µA	0.01 mAh	Konfiguration bleibt erhalten. Kein Empfang und kein Aufwecken durch eintreffende Pakete.	[3]	Datenblatt
SX1262	Warm Sleep + RC64k	1,2 µA	0.03 mAh	Niederfrequenzoszillator aktiv. Für schnelle zeitgesteuerte Zustandswechsel.	[3]	Datenblatt
SX1262	Standby RC	0,6 mA	14.4 mAh	Schneller verfügbar als Sleep, aber noch kein Paketempfang.	[3]	Datenblatt
SX1262	Standby XOSC	0,8 mA	19.2 mAh	Quarzoszillator aktiv; noch kein Paketempfang.	[3]	Datenblatt
SX1262	LoRa RX, DC/DC	4,6 mA	110.4 mAh	Relevanter Chipwert für energiesparenden Dauerempfang. TCXO, HF-Schalter, Regler und MCU kommen hinzu.	[3]	Datenblatt
SX1262	LoRa RX Boosted, DC/DC	5,3 mA	127.2 mAh	Erhöhte Empfangsleistung bei ca. 15 % mehr Chipstrom.	[3]	Datenblatt
SX1262	LoRa RX, LDO	8,8 mA	211.2 mAh	Ineffizienterer Reglerpfad. Für Batteriebetrieb möglichst vermeiden.	[3]	Datenblatt
SX1262	LoRa RX Boosted, LDO	10,1 mA	242.4 mAh	Ursprung der Angabe „über 10 mA“. Nicht der grundsätzlich erforderliche RX-Strom.	[3]	Datenblatt
SX1262	TX +14 dBm, 868/915 MHz	ca. 45 mA	0,0125 mAh/s	Für kurze Pakete mit Airtime rechnen. Meist energetisch weniger relevant als kontinuierlicher Empfang.	[3]	Datenblatt
SX1262	TX +17 dBm, 868/915 MHz	ca. 58 mA	0,0161 mAh/s	Guter Kompromiss zwischen Reichweite und Energie, sofern der Link es erlaubt.	[3]	Datenblatt
SX1262	TX +20 dBm, 868/915 MHz	ca. 84 mA	0,0233 mAh/s	Hohe Stromspitze. Pufferung und Akku-Innenwiderstand berücksichtigen.	[3]	Datenblatt
SX1262	TX +22 dBm, 868/915 MHz	ca. 118 mA	0,0328 mAh/s	Maximalleistung; nur nutzen, wenn die Funkstrecke sie erfordert.	[3]	Datenblatt

Entscheidend für Meshtastic: Ein SX1262 im echten Sleep kann kein Funkpaket erkennen. Für jederzeitige Erreichbarkeit muss mindestens der Funkempfänger aktiv sein. Der reine SX1262-Chip benötigt dabei im DC/DC-RX typischerweise 4,6-5,3 mA; das vollständige Board liegt darüber.

2. GNSS und Bewegungssensor

Komponente	Betriebszustand	Strom	24-h-/Ereigniswert	Einsatz- und Kalkulationshinweis	Quelle	Status
L76K GNSS	Backup	8 µA	0.19 mAh	RTC/Backup-Domäne bleibt erhalten; geeignet zwischen Positionsabfragen.	[4]	Datenblatt
L76K GNSS	Standby	20 µA	0.48 mAh	Schnelleres Wiederaufwachen; RF-Empfang ist aus.	[4]	Datenblatt
L76K GNSS	Suche / Tracking	ca. 29 mA	696.0 mAh	Dominanter Verbraucher während eines Fixes. Nicht dauerhaft aktiv lassen.	[4]	Datenblatt
L76K GNSS	Hot Start, ca. 2 s	29 mA während Fix	ca. 0,016 mAh/Fix	Nur unter guten Bedingungen und mit erhaltenen Daten. Sehr günstig für periodische Ortung.	[4]	abgeleitet
L76K GNSS	Cold Start, ca. 30 s	29 mA während Fix	ca. 0,242 mAh/Fix	In Gebäuden, bei Abschattung oder Bewegung kann die Fixdauer deutlich länger werden.	[4]	abgeleitet
ICM-20948	Full-Chip Sleep	8 µA	0.19 mAh	Alle Sensoren aus. In diesem Zustand keine Bewegungserkennung.	[5]	Datenblatt
ICM-20948	Beschleunigung 1,1 Hz	6,7 µA	0.16 mAh	Extrem sparsam, aber kurze Erschütterungen können übersehen werden.	[5]	Datenblatt
ICM-20948	Beschleunigung 8,8 Hz	11,4 µA	0.27 mAh	Guter Startwert für Wake-on-Motion bei sehr niedrigem Verbrauch.	[5]	Datenblatt
ICM-20948	Beschleunigung 17,6 Hz	16,8 µA	0.40 mAh	Zuverlässiger für kurze Bewegungen; weiterhin energetisch nahezu unkritisch.	[5]	Datenblatt
ICM-20948	Beschleunigung 102,3 Hz	68,9 µA	1.7 mAh	Für detaillierte Bewegungs- oder Aufprallerkennung.	[5]	Datenblatt
ICM-20948	Magnetometer 8 Hz	ca. 90 µA	2.2 mAh	Kompass/Orientierung. Für reine Bewegungsdetektion meist nicht erforderlich.	[5]	Datenblatt
ICM-20948	Gyroskop Low Power 102,3 Hz	ca. 1,23 mA	29.5 mAh	Nur nach Bewegung zuschalten; nicht als Dauer-Standby-Sensor.	[5]	Datenblatt
ICM-20948	9-Achsen-Betrieb	ca. 3,11 mA	74.6 mAh	Für Sensorfusion und Orientierung; für Dauerbetrieb teuer im Vergleich zum reinen Beschleunigungssensor.	[5]	Datenblatt

Wake-on-Motion: Der ICM-20948 kann im Low-Power-Beschleunigungsmodus mit wenigen Mikroampere Bewegungen überwachen. Die offizielle T-Echo-Card-Pinliste dokumentiert beim IMU jedoch nur SDA/SCL und keinen INT-Pin. Daher muss geprüft werden, ob der Sensorinterrupt tatsächlich mit einem Wake-fähigen GPIO verbunden ist.

3. Speicher, Anzeige, LED, Audio und Versorgung

Komponente	Betriebszustand	Strom	24-h-/Ereigniswert	Einsatz- und Kalkulationshinweis	Quelle	Status
ZD25WQ32C Flash	Deep Power-down	0,2 µA	0.005 mAh	Für längere Schlafphasen verwenden.	[6]	Datenblattspiegel
ZD25WQ32C Flash	Standby	ca. 7,5 µA	0.18 mAh	Bereit, aber ohne aktive Übertragung.	[6]	Datenblattspiegel
ZD25WQ32C Flash	Lesen, ca. 33 MHz	ca. 2,0 mA	0,00056 mAh/s	Lese-/Schreibvorgänge bündeln; für Ereignisprotokolle normalerweise kurz.	[6]	Datenblattspiegel
ZD25WQ32C Flash	Programmieren	ca. 2,5 mA	0,00069 mAh/s	Schreibzeit ist meist kurz; Wear-Leveling/Ringpuffer einsetzen.	[6]	Datenblattspiegel
OLED 0,42"	Display Sleep/Off	ca. 3 µA typ.; bis 20 µA	0,07-0,48 mAh	Referenzwert eines passenden Panels. Exaktes LILYGO-Panel nicht separat dokumentiert.	[7]	Referenzmodul
OLED 0,42"	vollflächig aktiv	bis ca. 22-25 mA	528-600 mAh	Maximal-/Referenzwert. Kleine Statusanzeige liegt meist deutlich darunter, muss aber gemessen werden.	[7]	Referenzmodul
OLED 0,42"	kleine Statusanzeige	ca. 1-5 mA	24-120 mAh	Planungswert, keine Herstellerspezifikation. Display nur kurz auf Tastendruck aktivieren.	[7]	Schätzung
WS2812C-2020	ein Farbkanal, 100 %	ca. 5 mA	120.0 mAh	Revisionsabhängig. Für Blinksignale mit Helligkeit und Einschaltdauer gewichten.	[8]	Datenblattfamilie
WS2812C-2020	eine LED, volles Weiß	ca. 15 mA	360.0 mAh	Drei Kanäle gleichzeitig. Die T-Echo Card dokumentiert drei WS2812-Ausgänge.	[1]	abgeleitet
3 × WS2812	volles Weiß	ca. 45 mA	1080.0 mAh	Nur kurzzeitig nutzen. Ruhestrom bei „schwarz“ ist nicht verlässlich dokumentiert und sollte gemessen werden.	[1]	abgeleitet
MP34DT05 Mikrofon	Power-down, kein PDM-Takt	ca. 5 µA	0.12 mAh	Keine Geräuscherkennung und kein autonomes Audio-Wakeup möglich.	[9]	Datenblatt
MP34DT05 Mikrofon	aktiv	ca. 650 µA	15.6 mAh	Zusätzlich CPU-Strom für PDM-Erfassung und Auswertung berücksichtigen.	[9]	Datenblatt
MAX98357 Verstärker	Shutdown	ca. 0,6 µA	0.01 mAh	Speaker-Enable im Normalbetrieb deaktivieren.	[10]	Datenblatt
MAX98357 Verstärker	Standby ohne BCLK	ca. 340 µA	8.2 mAh	Deutlich höher als echter Shutdown; nicht als Tiefschlafzustand verwenden.	[10]	Datenblatt
MAX98357 Verstärker	aktiv, ohne Ausgangsleistung	ca. 2,4 mA	57.6 mAh	Ruhestrom bei eingeschaltetem Verstärker.	[10]	Datenblatt
MAX98357 + Lautsprecher	ca. 1 W Audio	ca. 220-300 mA	0,061-0,083 mAh/s	Aus Ausgangsleistung und Wirkungsgrad abgeleitet. Nur ereignisbezogen aktivieren.	[10]	abgeleitet
RT9080 LDO	Leerlauf/Ruhestrom	ca. 2 µA	0.05 mAh	Reglereigenverbrauch. Laststrom der versorgten Schiene nicht doppelt addieren.	[11]	Datenblatt
Board-Leckströme	Lader, Pull-ups, Pegel, Schutz	nicht veröffentlicht	zu messen	Kann im Schlaf den Chipwert deutlich dominieren. Messung am Batterieanschluss ist zwingend.	[1]	unbekannt
Solarpanel	Quelle, Nennpunkt	0,25 W bei 5 V ≈ 50 mA	max. 250 mWh/h	Energiequelle, kein Verbraucher. Reale Leistung hängt stark von Sonne, Winkel, Temperatur und Ladeelektronik ab.	[1]	Herstellerangabe

4. Praktische Rechenwerte für Anwendungen

Anwendungszustand	Ansatz	Tagesverbrauch	Interpretation
LoRa-Dauerempfang, SX1262 allein	4,6-5,3 mA	110-127 mAh/Tag	Untergrenze. MCU, TCXO/HF-Schalter, Regler und Boardverluste kommen hinzu.
Meshtastic-Client, Display/GNSS meist aus	ca. 6-12 mA	ca. 144-288 mAh/Tag	Realistische Planungsbandbreite bis zur Messung des vollständigen Boards.
12 h Empfang + 12 h Tiefschlaf	z. B. 8 mA aktiv, 0,3 mA Schlaf	ca. 99,6 mAh/Tag	$8 \times 12 + 0,3 \times 12$. Mit 680 mAh nutzbar ca. 6,8 Tage ohne Solar.
Bewegungsüberwachung, 8,8 Hz	11,4 µA Sensor	0,274 mAh/Tag	Wake-on-Motion ist energetisch sehr günstig, sofern der Interrupt hardwareseitig verbunden ist.
Stündlicher GNSS-Hot-Fix	$24 \times \text{ca. } 0,016 \text{ mAh}$	ca. 0,39 mAh/Tag	Nur bei tatsächlich kurzem Hot Start; schlechte Sicht kann den Wert stark erhöhen.
Stündlicher GNSS-Kaltstart	$24 \times \text{ca. } 0,242 \text{ mAh}$	ca. 5,8 mAh/Tag	Deutlich teurer, aber immer noch unter einem daueraktiven GNSS.
LoRa TX +20 dBm, 1 s pro Stunde	$24 \times 0,0233 \text{ mAh}$	ca. 0,56 mAh/Tag	Zeigt, dass Dauer-RX oft teurer ist als kurze Sendungen.

Formeln

$$\text{Ereignisverbrauch: } Q [\text{mAh}] = I [\text{mA}] \times t [\text{s}] / 3600$$

$$\text{Mittlerer Strom: } I_{\text{mittel}} = \Sigma(I_i \times t_i) / T$$

$$\text{Tagesverbrauch: } Q_{\text{Tag}} [\text{mAh/Tag}] = I_{\text{mittel}} [\text{mA}] \times 24 \text{ h}$$

$$\text{Akkulaufzeit [Tage]} \approx \text{nutzbare Akkukapazität [mAh]} / Q_{\text{Tag}} [\text{mAh/Tag}]$$

Hinweis zur Akkukapazität: Die häufig genannte Kapazität von 800 mAh ist keine veröffentlichte LILYGO-Spezifikation. Für konservative Beispielrechnungen wurden zuvor 680 mAh nutzbar angesetzt (85 % von 800 mAh). Die reale Kapazität und nutzbare Energie müssen am Gerät verifiziert werden.

Empfohlene Messungen am vollständigen Board

1. Tiefschlaf mit allen Peripherien deaktiviert; 2. SX1262 Dauer-RX normal und RX Boosted; 3. Meshtastic CLIENT und CLIENT_MUTE; 4. Bluetooth an/aus; 5. GNSS-Suche und Tracking; 6. OLED an/aus; 7. WS2812 auf Schwarz und Versorgung getrennt; 8. LoRa-TX bei der vorgesehenen Sendeleistung. Eine 24-h-Lastprofil-Messung ist aussagekräftiger als Einzelspitzen.

5. Quellenverzeichnis

Die folgenden Links sind im PDF anklickbar. Bei Datenblattspiegeln wurde dies ausdrücklich gekennzeichnet, da nicht für jedes Bauteil ein stabiler offizieller Direktlink verfügbar ist.

- [1] [LILYGO T-Echo Card - offizielle Dokumentation](https://wiki.lilygo.cc/products/t-echo-series/t-echo-card/)
<https://wiki.lilygo.cc/products/t-echo-series/t-echo-card/>
- [2] [Nordic Semiconductor - nRF52840 Product Specification](https://docs.nordicsemi.com/bundle/ps_nrf52840/page/keyfeatures_html5.html)
https://docs.nordicsemi.com/bundle/ps_nrf52840/page/keyfeatures_html5.html
- [3] [Semtech - SX1262 Produktseite und SX1261/SX1262-Datenblatt](https://www.semtech.com/products/wireless-rf/loro-connect/sx1262)
<https://www.semtech.com/products/wireless-rf/loro-connect/sx1262>
- [4] [Quectel L76K Hardware Design V1.0 \(Dokumentspiegel\)](https://files.waveshare.com/upload/d/db/Quectel_L76K_Hardware_Design_V1.0.pdf)
https://files.waveshare.com/upload/d/db/Quectel_L76K_Hardware_Design_V1.0.pdf
- [5] [TDK InvenSense - ICM-20948 Datenblatt](https://product.tdk.com/system/files/dam/doc/product/sensor/motion-inertial/imu/data_sheet/ds-000189-icm-20948-v1.5.pdf)
https://product.tdk.com/system/files/dam/doc/product/sensor/motion-inertial/imu/data_sheet/ds-000189-icm-20948-v1.5.pdf
- [6] [Zetta ZD25WQ32C Datenblatt \(Distributoren-Spiegel\)](https://www.compel.ru/series/ZETTA/ZD25WQ32C)
<https://www.compel.ru/series/ZETTA/ZD25WQ32C>
- [7] [Referenzdatenblatt eines 0,42-Zoll-/72x40-OLED-Moduls](https://www.buydisplay.com/download/manual/ER-OLED0.42-2_Datasheet.pdf)
https://www.buydisplay.com/download/manual/ER-OLED0.42-2_Datasheet.pdf
- [8] [Worldsemi - WS2812C-2020 Produktfamilie](https://www.world-semi.com/ws2812-family/page1/)
<https://www.world-semi.com/ws2812-family/page1/>
- [9] [STMicroelectronics - MP34DT05 Datenblatt](https://www.st.com/resource/en/datasheet/mp34dt05.pdf)
<https://www.st.com/resource/en/datasheet/mp34dt05.pdf>
- [10] [Analog Devices - MAX98357A Produktseite/Datenblatt](https://www.analog.com/en/products/max98357a.html)
<https://www.analog.com/en/products/max98357a.html>
- [11] [Richtek - RT9080 Produktseite](https://www.richtek.com/Home/Products/Linear%20Regulator/Single%20Output%20Linear%20Regulator/RT9080)
<https://www.richtek.com/Home/Products/Linear%20Regulator/Single%20Output%20Linear%20Regulator/RT9080>

Haftung und Genauigkeit

Die Tabelle dient als technische Vorabschätzung. Datenblattwerte können von Versorgungsspannung, Temperatur, Funkband, Bandbreite, Firmware, Hardware-Revision und externen Bauteilen abhängen. Der Gesamtstrom des T-Echo-Card-Boards ist nicht die einfache Summe aller Maximalwerte, sondern muss aus den zeitlich gewichteten Betriebszuständen sowie dem gemessenen Board-Grundstrom gebildet werden.