TECHNISCHE NOTIZ

Robuste Mehrfach-Akkuladegeräte nach Maß 2026: vom Datenblatt zu Engineering-Mustern in 16 Wochen

Ein robustes Katalog-Ladegerät passt selten zu einem neuen Akku, und Hersteller von Sonderanfertigungen veröffentlichen kaum Lieferzeiten oder Preise. Dies ist eine dichte, lüfterlose Plattform für Mehrfach-Ladegeräte, die in 16 Wochen von der Spezifikation zu funktionierenden Engineering-Mustern kommt: wie sie aufgebaut ist, wie Lücken in einer Spezifikation gefüllt werden, wie die Entwicklung gestaffelt ist und was Sie schicken sollten, wenn Sie eines brauchen.

Tan Shuai · tanshuai.com · i@tanshuai.com

23. November 2026

Zusammenfassung

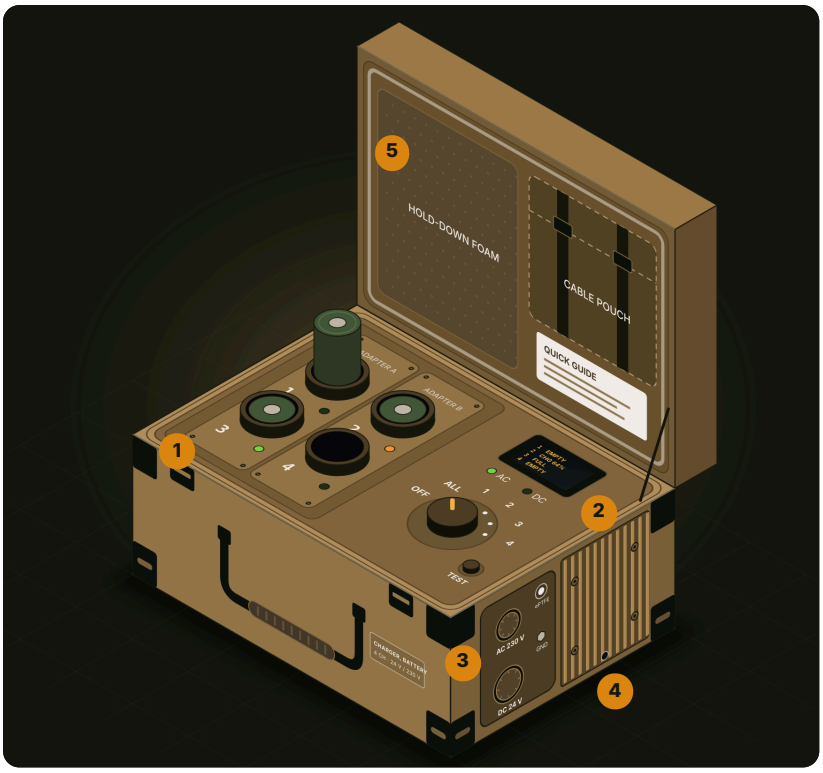
Ein robustes Mehrfach-Ladegerät ist ein Produkt in kleinen Stückzahlen, das um den Akku eines anderen herum gebaut wird; deshalb sind die meisten Sonderanfertigungen. Dieser Beitrag beschreibt eine Plattform, mit der sie sich schnell bauen lassen. Sie besteht aus einem dichten, lüfterlosen Aluminiumgehäuse mit austauschbaren Akku-Adapterplatten, einem galvanisch getrennten Ladekanal pro Schacht an einem gemeinsamen 48-V-Bus, AC- und 24-V-Fahrzeugeingängen mit AC-Vorrang, und jeder akkuspezifische Parameter liegt in Firmware-Tabellen. Das durchgerechnete Beispiel hat vier Schächte, 120 W, 14,3 Liter und rund 5 kg; dasselbe Design deckt zwei bis acht Schächte ab. Sobald Spezifikation und Musterakkus vorliegen, liefert eine erste Phase zum Festpreis in 16 Wochen drei Engineering-Muster, einen Prüfbericht und eine vollständige Konformitätsmatrix; eine zweite Phase friert das Design ein und bereitet die Qualifikation vor, danach wird das vollständige Design-Datenpaket übergeben. Die Fertigung in Shenzhen, Sitz zweier der größten Batteriehersteller Chinas und eine kurze Fahrt von fast jedem Bauteil entfernt, macht diesen Zeitplan und diesen Preis möglich.

Warum ich das schreibe

Alle paar Wochen braucht jemand ein Ladegerät für einen Akku, den sonst niemand lädt: einen Funkgeräteakku mit eigener Datenleitung, einen Drohnenakku mit eigenem Stecker, ein 24-V-Fahrzeug, in dem das Ladegerät Motorstarts überstehen muss. Die Katalog-Ladegeräte der großen Rüstungslieferanten passen zu deren eigenen Akkus. Die Hersteller von Sonderladegeräten, die ich gefunden habe, beschreiben ihre Fähigkeiten, aber nicht ihre Lieferzeiten oder Preise. Ich habe diese Plattform so entworfen, dass sich ein Ladegerät nach Maß in Tagen abgrenzen und in Wochen bemustern lässt, und ich schreibe sie auf, damit jeder mit einem solchen Akku weiß, was er schicken und was er erwarten kann. Alle Zahlen gelten für November 2026, Beträge in US-Dollar.

Ergebnisse auf einen Blick

Abbildung 1. Eine Plattform, je Programm konfiguriert: die Vier-Schacht-Version, dasselbe Gehäuse in drei Ausführungen.



1. **Swappable adapter plates**
   Two wells each; a new battery means a new plate, not a new case
2. **Display, selector, TEST**
   All bays at a glance or one bay in detail; built-in test on demand
3. **AC and vehicle inputs**
   AC takes priority; vehicle input built for MIL-STD-1275
4. **Finned end wall**
   The sealed, fanless electronics bay sheds heat through it
5. **Lid pad and cable pouch**
   Holds the batteries in place with the lid closed

FINISHES



Desert tan | Olive drab | Black

Quelle: The author's concept design, revision 2.1, November 2026.

	Plattformbereich	Beispiel mit vier Schächten
Schächte	2 bis 8, identisch und galvanisch getrennt	4
Ladeleistung	Insgesamt etwa 60 bis 300 W	120 W, insgesamt 9 A, alle Schächte gleichzeitig
Akkus	Li-Ionen, Li-Polymer und $LiFePO_4$, 1 bis 14 Zellen in Reihe pro Schacht	Vier 99-Wh-Akkus in etwa 4 Stunden
Akkudaten	Galvanisch getrennter SMBus- oder Eindraht-Port pro Schacht: Kapazität und Zyklenzahl lesen, schreiben mit dem Schnittstellendokument des Akkus	Lesen und schreiben
Eingänge	90–264 VAC, 47–63 Hz; 12- oder 24-V-Fahrzeug-DC mit Transienten nach MIL-STD-1275; AC hat nahtlos Vorrang	230 VAC und 24 VDC
Bedienung	OLED bis −40 °C, eine zweifarbige LED pro Schacht, ein Wahlschalter (OFF, ALL, eine Stellung pro Schacht) und eine abgedichtete TEST-Taste; Text in jeder Sprache, auch von rechts nach links	Sechs Stellungen
Gehäuse	Geschweißtes Aluminium 5052, Elektronikraum IP67, kein Lüfter, Deckel während der Fahrt geschlossen; Olivgrün, Wüstensand, Schwarz oder Farbe nach Wunsch	340 × 240 × 175 mm, 14,3 L, etwa 5,1 kg
Umgebung	Betrieb −20 bis +55 °C, Lagerung −40 bis +71 °C	Gleich
Ausgelegt nach	MIL-STD-810H, 461G, 1275E und F, IEC 62368-1:2023; Berichte können ältere Methodennummern zitieren	Gleich
Zeitplan	16 Wochen bis zu drei Engineering-Mustern, etwa 30 Wochen bis zu Vorqualifikationsgeräten	Gleich

Wofür sie gedacht ist

Die Plattform zielt auf Akkus, die getragen, eingebaut oder in großer Zahl eingesetzt werden, wo ein Ladegerät in einem Fahrzeug, einem Shelter oder einem Feldkoffer leben muss statt auf einem Schreibtisch:

- **Militär- und Sicherheitsfunk.** Tornister- und Handfunkgeräteakkus mit Datenleitungen, von Akkus der Klasse BB-2590 bis zu Handfunkgeräteakkus, bei denen das Ladegerät den Akkuspeicher ausliest und die Zyklenzahl führt.
- **Drohnen- und UAS-Flotten.** Feldladekoffer, die vier bis acht Akkus gleichzeitig aus einem Fahrzeug, einem Generator oder dem Netz laden.
- **Betriebsfunkflotten.** Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben, Bergbau, Versorger und Katastrophenschutz, wo Sammelladegeräte in Lkw mitfahren und herunterfallen.
- **Fahrzeuge und Boote.** Militärische und zivile 24-V-Fahrzeuge, bei denen der Eingang Motorstarts, Spannungsspitzen und verpolte Leitungen überstehen muss.
- **Industrie- und Prüfgeräte.** Instrumenten- und Werkzeugakkus, die ein dichtes, reproduzierbares Ladegerät mit Protokoll brauchen.

Katalog-Ladegeräte scheitern hier auf vorhersehbare Weise: Kontakte und Verriegelung des Akkus sind spezifisch, das Datenprotokoll ist anders, der Eingang passt nicht zum Fahrzeug, das Gehäuse ist zu groß oder die Normen sind nicht abgedeckt. Ein Ladegerät nach Maß behebt all das, aber nur, wenn es sich entwerfen lässt, ohne jedes Mal bei null anzufangen. Genau dafür ist die Plattform da.

Schritt 1: das Datenblatt in einen Designrahmen übersetzen

Spezifikationen für robuste Ladegeräte sind selten vollständig. Die üblichen Lücken sind das genaue Akkumodell und damit Spannung, Kapazität, Chemie und Kontakte; ob „vier Stunden“ einen Akku oder vier gleichzeitig meint; ob „120 W“ Eingang oder Ausgang sind; welche Ausgabe jeder Norm gilt; was „EMP-Schutz“ bedeutet; und wie der Akkuspeicher gelesen und beschrieben wird. Auf jede Antwort zu warten, würde das Projekt um Monate verzögern.

Stattdessen fülle ich jede Lücke mit ihrem wahrscheinlichsten Wert, einem Vertrauensniveau und der Reserve, die das Design braucht, falls die Annahme falsch ist, und entwerfe dann einen Rahmen, der jede plausible Antwort abdeckt. Im Vier-Schacht-Beispiel passten drei verschiedene Akkus zur Spezifikation; ein Designrahmen deckt alle drei ab. Alles, was voraussichtlich spät bestätigt wird, liegt in Firmware-Tabellen: Ladeprofile, Akkuprotokolle, die Stellungen des Wahlschalters und jeder angezeigte Text. Eine späte Antwort ändert dann eine Konfigurationsdatei, nicht die Hardware.

Abbildung 2. Was in jedem Programm wiederverwendet und was für jedes konfiguriert wird.

Platform core
Reused on every program

- **Sealed, fanless case** — Welded aluminium, IP67 bay, finned end wall
- **AC and vehicle front end** — MIL-STD-1275 protection, EMI filters, AC priority
- **48 V bus and charge channel** — Isolated module, buck-boost charger, 1–14 cells
- **Controller** — Display, selector, built-in test, log, service port
- **Firmware framework** — Charge engine, safety limits, logging
- **Test fixtures** — Production test and burn-in

+

Per program
Configured for each customer

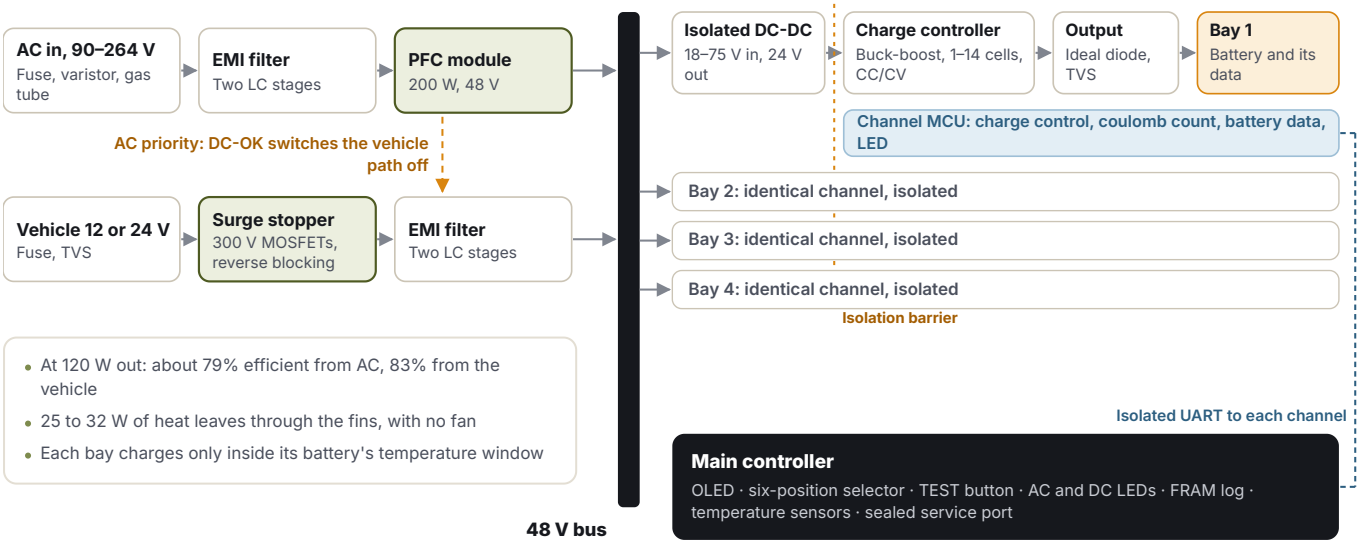
Battery adapter plates and contacts	Part
Number of bays, 2 to 8	Case size
Charge profiles and temperature window	Table
Battery data protocol	Table
Input options: AC, 12 or 24 V, both	Option
Display language and labels	Table
Color and markings	Finish
Test plan and report format	Document

A late answer from the customer changes a table or a plate, not the hardware.

Quelle: The author's platform design.

Schritt 2: die elektrische Architektur

Abbildung 3. Zwei Eingänge, ein 48-V-Bus, vier getrennte Kanäle und eine Steuerung, die mit jedem über eine getrennte Verbindung spricht.



Quelle: The author's design.

Der AC-Pfad führt über eine Sicherung, einen Varistor und einen Gasableiter, ein zweistufiges LC-Filter und ein an der Gehäusewand montiertes 200-W-Modul mit 48 V und Leistungsfaktorkorrektur, dann über eine ideale Diode auf einen 48-V-Bus. Der Fahrzeugpfad führt über eine Sicherung, eine TVS-Diode und einen Surge-Stopper mit 300-V-MOSFET und antiseriellem Verpolschutz, dann über sein eigenes Filter auf denselben Bus. Liegt AC an, schaltet das DC-OK-Signal des AC-Moduls den Fahrzeugpfad ab; der AC-Vorrang braucht so kein Relais, und die Umschaltung erfolgt unterbrechungsfrei.

Jeder Schacht hat ein galvanisch getrenntes DC-DC-Modul (18–75 V ein, 24 V aus), einen Buck-Boost-Laderegler von TI, der 1 bis 14 Zellen mit Hardware-Regelung von Konstantstrom und Konstantspannung beherrscht, eine ideale Ausgangsdiode und eine TVS-Diode. Ein kleiner Mikrocontroller auf der getrennten Seite jedes Kanals

steuert den Laderegler, zählt Coulomb, kommuniziert mit dem Akkuspeicher und treibt die LED des Schachts; er meldet über einen getrennten UART an die Hauptsteuerung. Die Hauptsteuerung betreibt das Display, liest Wahlschalter und TEST-Taste, führt das Protokoll im FRAM, überwacht die Temperatursensoren und besitzt einen abgedichteten Serviceport.

Die Entscheidungen sind bewusst:

- **Die Trennung zwischen den Schächten gibt es fast umsonst,** weil die getrennten Module ohnehin da sind; die digitalen Isolatoren kosten deutlich unter einem Dollar pro Kanal.
- **Ein Fehler bleibt in seinem Schacht.** Ein kurzgeschlossener Akku oder ein Firmwarefehler in einem Kanal lässt die anderen drei weiterladen.
- **Der Großteil des EMV- und Sicherheitsrisikos liegt in zertifizierten Modulen** mit langer Felderfahrung, sodass der Entwicklungsaufwand in Integration, Firmware und Mechanik fließt statt in die Neuerfindung von Netzteilen.
- **Eine Stufe Überspannungsschutz genügt,** weil die Kanalmodule 100 V für eine Sekunde vertragen. Die vollständige Rechnung zur Eingangsstufe steht in meiner Checkliste zu MIL-STD-1275, 810 und 461 für Akkuladegeräte.

Bei 120 W Ausgangsleistung liegt der Wirkungsgrad bei etwa 79 % aus AC und 83 % aus dem Fahrzeug; das Gehäuse muss also 25 bis 32 W ohne Lüfter abführen. Das AC-Modul regelt oberhalb von 50 °C ab, daher reduziert die Firmware bei +55 °C in praller Sonne die Ladeleistung, oder es kommt ein größeres Modul hinein, wo bei dieser Temperatur volle Leistung gefordert ist. Jeder Kanal misst zudem die Temperatur seines Akkus und lädt nur innerhalb des Fensters des Akkuherstellers, typischerweise 0 bis 45 °C: außerhalb pausiert der Schacht, blinkt rot, zeigt den Grund an und setzt danach selbsttätig fort. Heizmatten in den Schächten sind eine Option für Kunden, die bei −10 °C laden müssen.

Schritt 3: das Gehäuse

Abbildung 4. Draufsicht und Schnitt: links die Akkus, rechts der abgedichtete Elektronikraum, die Wärme geht über die verrippte Stirnwand ab.



1. **Two swappable adapter plates** — 2 × 2 battery wells at 70 mm pitch
2. **Two-color LED per bay** — Green full, amber charging, red fault
3. **2.42-inch OLED, −40 °C grade** — Capacity, cycle count, status, any language
4. **AC and DC indicators** — AC priority; DC takes over seamlessly
5. **Six-position selector, TEST button** — OFF, ALL or one bay; all bays always charge
6. **Gasket land** — The lid seals the full perimeter
7. **Lid foam pad** — Holds the batteries in their wells
8. **D-section silicone gasket** — Continuous; dust-tight and rain-tight
9. **Vertical fins** — Natural convection; fan-ready bosses
10. **Sealed electronics bay** — ePTFE vent; heat out through the fins
11. **Battery wells sized per battery** — Contact block at the base, drain valve

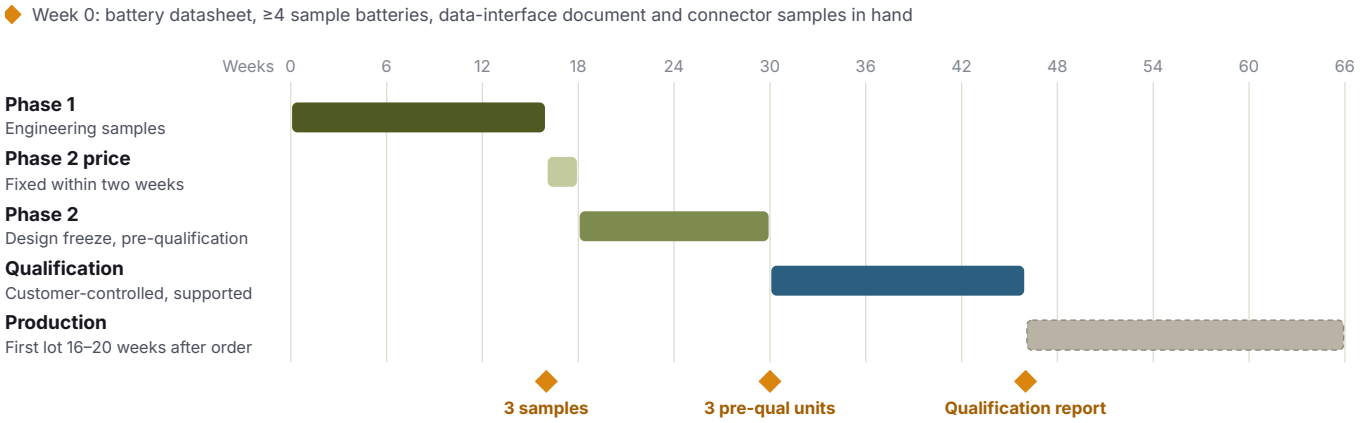
Quelle: The author's concept design, revision 2.1.

Das Gehäuse besteht aus geschweißtem Aluminium 5052 mit einem abgedichteten Elektronikraum an einem Ende und dem Akkudeck am anderen. Jedes warme Bauteil leitet in eine verrippte Stirnwand, die die Wärme durch natürliche Konvektion abgibt; Befestigungsdome für einen abgedichteten Außenlüfter sind für Programme vorgesehen, die bei hoher Temperatur mehr Leistung brauchen. Ein ePTFE-Druckausgleichselement lässt den Raum in der Höhe atmen, ohne Wasser einzulassen, und die Akkuschächte entwässern über eigene Ventile. Das Deck trägt zwei austauschbare Adapterplatten mit je zwei Schächten; ein neuer Akku bedeutet also eine neue Platte und neue Kontakte, kein neues Gehäuse. Eine umlaufende Silikondichtung mit D-Profil dichtet den Deckel, und ein Schaumstoffpolster im Deckel hält die Akkus in ihren Schächten, sodass das Ladegerät mit geschlossenem Deckel in einem fahrenden Fahrzeug arbeiten kann. Eckpuffer aus Polymer mit Gurtschlitzen nehmen Stürze auf, und der Griff ist für Handschuhe bemessen.

Die Bedienung folgt derselben Logik wie die Elektronik. Alle vier Schächte laden immer: Einsetzen eines Akkus startet seinen Schacht, Entnehmen stoppt ihn, und jeder Schacht hat seine eigene LED. Der Wahlschalter mit sechs Stellungen schaltet das Gerät ein und wählt die Ansicht: OFF, ALL für eine Übersicht aller Schächte oder ein einzelner Schacht mit Kapazität in mAh und Zyklenzahl. Der Selbsttest läuft bei jedem Einschalten und auf Anforderung über die abgedichtete TEST-Taste, seine Ergebnisse gehen ins Protokoll. Ein Kunde, der einen einzelnen Schacht stoppen will, bekommt das per Firmware, ohne pro Schacht einen Schalter und eine Dichtung hinzuzufügen.

Schritt 4: Entwicklung in zwei Festpreisphasen

Abbildung 5. Sechzehn Wochen bis zu den Engineering-Mustern, etwa dreißig bis zu den Vorqualifikationsgeräten.



Phase 1 delivers

- Three working engineering samples
- Test report: heat soak, 1275 surge, EMC pre-scan
- Compliance matrix: every requirement, design response and test

Phase 2 delivers

- Design freeze and three pre-qualification units
- One test plan for MIL-STD-810, 461 and 1275
- On payment: the complete design data package

Then

- Qualification run by the customer, with supplier support
- Production lots 16–20 weeks after an order
- Development cost credited against production units

Quelle: The author's development plan.

Die Entwicklung ist so geteilt, dass keine Seite das ganze Budget setzt, bevor sie Hardware sieht.

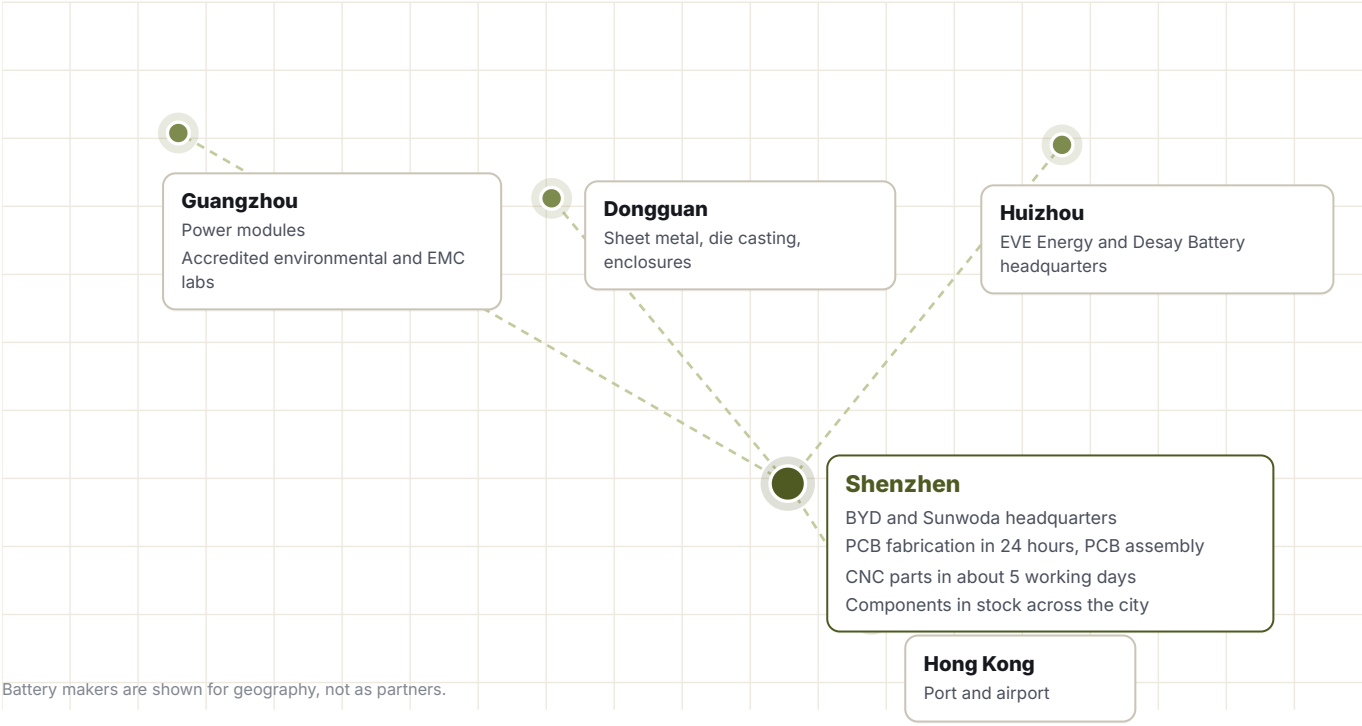
Phase 1, 16 Wochen, Festpreis. Die Uhr läuft, sobald Datenblatt des Akkus, mindestens vier Musterakkus, das Dokument zur Datenschnittstelle des Akkus und Steckermuster eingetroffen sind, normalerweise innerhalb von zwei Wochen nach Auftrag. Phase 1 liefert drei funktionierende Engineering-Muster, einen Prüfbericht zu den riskanten Punkten (Wärmeprüfung, der Surge nach MIL-STD-1275, ein EMV-Vorscan) und eine Konformitätsmatrix, die jede Zeile der Spezifikation mit einer Designantwort und einer Nachweismethode beantwortet.

Phase 2, Festpreis binnen zwei Wochen nach Phase 1. Design-Freeze, Vorqualifikationsgeräte etwa in Woche 30 und ein Prüfplan, der MIL-STD-810, 461 und 1275 in einem Dokument abdeckt. Mit Bezahlung von Phase 2 wechselt das vollständige Design-Datenpaket den Besitzer: Schaltpläne, Leiterplattendaten, Firmware-Quellcode, Mechanik-CAD, Prüfanweisungen und eine Stückliste mit Bezugsquellen. Der Kunde kann das Ladegerät dann überall bauen lassen.

Qualifikation und Produktion. Die Qualifikation liegt beim Kunden, mit unserem Prüfplan, Vorprüfdaten und Korrekturmaßnahmen im Rücken. Produktionslose folgen 16 bis 20 Wochen nach Auftrag, und die Entwicklungskosten können auf Seriengeräte angerechnet werden. Was vergleichbare Militärladegeräte kosten und wo eine Anfertigung nach Maß im Vergleich liegt, steht in Preise für militärische Mehrfach-Akkuladegeräte 2026.

Warum Shenzhen

Abbildung 6. Batteriehersteller, Leiterplatten, Zerspanung und Prüflabore in kurzer Fahrdistanz zueinander.



Quelle: Company headquarters from public company information; supply-chain lead times are typical Shenzhen figures, November 2026.

Tempo und Kosten kommen von der Geografie. Shenzhen ist Sitz der Zentralen von BYD und Sunwoda, EVE Energy und Desay Battery sitzen im benachbarten Huizhou; Ingenieure, die Lithiumzellen, Batteriemanagement und deren Fehlerbilder kennen, sind also nie weit. Eine Prototyp-Leiterplatte kommt in 24 Stunden zurück, ein gefrästes Teil in etwa fünf Arbeitstagen, und fast jedes Bauteil liegt irgendwo in der Stadt auf Lager. Umwelt- und EMV-Labore mit den Akkreditierungen, die ein Prüfbericht braucht, gibt es in Shenzhen und Guangzhou. In der Praxis wird eine Designiteration so von Wochen zu Tagen, und das ist ein großer Teil des Grundes, warum die Plattform deutlich unter dem Preisniveau der etablierten Anbieter liegen kann. Die Batteriehersteller sind zur Geografie genannt, nicht als Partner.

Was Sie für ein Angebot schicken sollten

Eine hilfreiche erste E-Mail beantwortet das meiste davon, der Rest kann folgen:

- **Der Akku:** Modell und Datenblatt; Musterakkus kommen später.
- **Schächte:** wie viele, und wie viele gleichzeitig laden müssen.
- **Leistung:** Eingangsquellen (AC, 12- oder 24-V-Fahrzeug, beides) und die benötigte Ladezeit.

- **Daten:** was aus dem Akkuspeicher gelesen oder hineingeschrieben werden soll.
- **Umgebung und Normen,** mit Ausgabestand: Temperaturen, Dichtheit, MIL-STD-810, 461, 1275, Sicherheit.
- **Grenzen:** Größe, Gewicht, Farbe und Kennzeichnung.
- **Mengen und Termine:** Prototypen, erstes Los, Jahresmenge und wann Sie Muster brauchen.

Schicken Sie sie an i@tanshuai.com. Ich antworte mit den Fragen, die das Design entscheiden, und, sobald der Akku feststeht, mit einem Festpreis für Phase 1. Wenn Sie Ihre Spezifikation noch schreiben, zeigt meine Design-Checkliste zu MIL-STD-1275, 810 und 461, welche Klauseln die Kosten treiben.

Quellen

1. Tan Shuai, MIL-STD-1275, 810 and 461 for Battery Chargers: A Design Checklist (companion note). https://tanshuai.com/blog/mil-std-1275-810-461-battery-charger-design-checklist
2. Texas Instruments, BQ25756 bidirectional buck-boost charge controller. https://www.ti.com/product/BQ25756
3. Mornsun, LMF200 series AC-DC module datasheet (thermal derating). https://www.mornsun-power.com/public/uploads/pdf/LMF200-23BxxUH.pdf
4. Mean Well UHP-200-48 (Octopart listing). https://octopart.com/part/mean-well/UHP-200-48
5. MIL-STD-1275E (2013). https://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-1100-1299/MIL-STD-1275E_45886/
6. MIL-STD-461G (2015). https://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0300-0499/MIL-STD-461G_53571/
7. MIL-STD-810E (1989) and 810H (2019) method equivalents. https://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0800-0899/MIL-STD-810E_13775/
8. Battery University, BU-410: Charging at high and low temperatures. https://batteryuniversity.com/article/bu-410-charging-at-high-and-low-temperatures
9. BYD Company (headquarters: Shenzhen). https://en.wikipedia.org/wiki/BYD_Company
10. Sunwoda Electronic (headquarters: Shenzhen). https://en.wikipedia.org/wiki/Sunwoda
11. EVE Energy (headquarters: Huizhou). https://en.wikipedia.org/wiki/EVE_Energy
12. Huizhou Desay Battery Co., Ltd. (Huizhou). https://ees-europe.com/exhibitorlist/huizhou-desay-battery-coltd
13. JLCPCB, PCB prototype service (24-hour builds). https://jlcpcb.com/

Über den Autor

Tan Shuai ist Technologe und Gründer mit über zwanzig Jahren Arbeit in den Bereichen Chips, Hardware und Systemsoftware sowie 20 erteilten Patenten. Seine Arbeit führte ihn durch Silicon Valley, New York, Chicago, Taiwan, die Greater Bay Area (Shenzhen und Hongkong), Vietnam und Malaysia, mit langem Fokus auf fortschrittliche Fertigung und Lieferketten. Heute arbeitet er als KI-Forscher und -Entwickler und baut mit Fertigungspartnern in Shenzhen robuste Elektronik nach Maß.

Projekte für Ladegeräte nach Maß und fachlicher Austausch: i@tanshuai.com.