

# Projektkalkulation

Autonome Mobile Roboterplattform

Stand: 4. Dezember 2025

---

## Kostenüberblick

Was kostet eine autonome Roboterplattform, wenn man klug einkauft und selbst Hand anlegt?

**Gesamtsumme:** 482,48 €

Die folgenden Seiten zeigen nicht nur, wofür wir Geld ausgegeben haben, sondern warum – und wo wir bewusst gespart haben.

## 1. Händleraufschlüsselung

### A. Rechenleistung & Sensorik (Intelligence)

Wo beginnen wir bei einem autonomen Roboter? Mit dem kognitiven Zentrum – der Investition in Rechenleistung und sensorische Wahrnehmung macht 69 % des Budgets aus.

**Warum diese Komponenten?** Der Raspberry Pi 5 mit 8GB RAM bildet die Basis für rechenintensive SLAM-Algorithmen. Wenn wir den Hailo-8L AI-Beschleuniger hinzufügen, entlasten wir die CPU bei Objekterkennung und garantieren deterministische Latenzzeiten unter 50 ms. Der RPLIDAR A1 liefert 8.000 Samples/s für präzise 2D-Kartierung bis 12 m Reichweite – das ist die sensorische Grundlage für die Navigation.

Händler	Datum	Position	Preis
<b>BerryBase – Zentrale Recheneinheit &amp; Sensorik</b>			
	28.11.25	Raspberry Pi 5 (8GB)	82,90 €
		Seeed RPLIDAR A1 (Laser-Scanner)	89,90 €
		Raspberry Pi Global Shutter Kamera	58,90 €
		Netzteil (27W USB-C, weiß)	12,40 €
		Active Cooler (Lüfter)	6,30 €
		Kamerakabel (500mm)	3,50 €
		<i>Zwischensumme BerryBase</i>	253,90 €
<b>Welectron – KI-Beschleuniger</b>			
	28.11.25	Raspberry Pi AI Kit (Hailo 8L TPU)	62,10 €
		<i>zzgl. MwSt. &amp; Versand</i>	+16,75 €
		<i>Zwischensumme Welectron</i>	78,85 €
<b>Summe Intelligence &amp; Sensorik</b>			332,75 €

**Tabelle 1:** \*

[Anteil am Gesamtbudget: 69 % – Investitionsschwerpunkt auf autonomer Navigation]Anteil am Gesamtbudget:  
69 % – Investitionsschwerpunkt auf autonomer Navigation

## B. Antrieb & Elektronik (Aktorik)

Wie bringen wir den Roboter in Bewegung? Die physische Mobilität kombiniert hochwertige Steuerungselektronik mit kosteneffizienter Mechanik aus Fernost.

Händler	Datum	Position	Preis
<b>Botland – Steuerung &amp; Peripherie</b>			
	02.12.25	Cytron MDD3A Motortreiber (16V/3A Dual)	8,50 €
		CS-Mount Objektiv (6mm Weitwinkel)	27,50 €
		SanDisk microSDXC 128GB Extreme	20,50 €
		Verbindungskabel (40 Stück)	2,00 €
		Versand (2× Lieferung)	9,98 €
		<i>Zwischensumme Botland</i>	68,48 €
<b>AliExpress – Robotik-Kern (Mechanik)</b>			
	28.11.25	JGA25-370 Getriebemotor (2×, 12V, 170 U/min, mit Encoder)	20,37 €
		Roboduino Alu-Chassis (2mm, Stapelbar)	16,44 €
		BMS Schutzplatine (2×, 3S 25A Li-Ion)	5,57 €
		PTZ-Halterung (2-Achsen Pan/Tilt)	3,85 €
		MG90S Servos (2×, Metallgetriebe, 180°)	3,69 €
		Kugelrolle Caster (5×, Carbon-Stahl)	0,99 €
		<i>Zwischensumme AliExpress Robotik</i>	50,91 €
<b>AliExpress – Werkzeug &amp; Zubehör</b>			
	28.11.25	Werkzeug-Pauschale (Schraubstock, Litzen, etc.)	19,22 €
<b>Summe Mechanik &amp; Antrieb</b>			138,61 €

**Tabelle 2:** \*

[Anteil am Gesamtbudget: 29 % – Strategie: Hochwertige Ansteuerung + günstige Mechanik] Anteil am Gesamtbudget: 29 % – Strategie: Hochwertige Ansteuerung + günstige Mechanik

**Die Design-Rationale:** Der Cytron MDD3A bietet PWM-Frequenzen bis 20 kHz – über der menschlichen Hörgrenze, damit arbeitet der Motor geräuschlos. Die JGA25-Motoren liefern 2,5 N m Drehmoment bei 12 V – ausreichend für Nutzlasten bis 5 kg. Beim Aluminium-Chassis aus China sparen wir 120 € gegenüber europäischer Präzisionsmechanik. Der Trade-Off: mögliche Toleranzabweichungen von  $\pm 0,5$  mm. Für unseren Prototyp akzeptabel – die Reifen gleichen das aus.

## C. Infrastruktur

Wie versorgen wir das System mit Energie? Die Energieversorgung erfolgt über einen DC/DC-Wandler mit USB-C Power Delivery für den Raspberry Pi 5.

Händler	Datum	Position	Preis
Amazon	28.11.25	DC/DC Wandler (12V/24V → 5V USB-C, 25W)	11,12 €
Summe Infrastruktur			11,12 €

**Tabelle 3:** \*

[Anteil am Gesamtbudget: 2 % – Minimale, aber essentielle Komponente]Anteil am Gesamtbudget: 2 % – Minimale, aber essentielle Komponente

**Die technische Spezifikation:** Der Wandler stabilisiert die 12 V-Batteriespannung auf exakt 5 V bei 5 A Dauerstrom. USB-C Power Delivery ermöglicht die direkte Versorgung des Raspberry Pi 5 – ohne zusätzliche Adapterkabel, ohne Spannungsabfall. Das ist wie ein präziser Druckregler: Egal was an der Batterie passiert, am Raspberry Pi kommen immer stabile 5 V an.

## 2. Kostenstruktur-Analyse

Wo fließt das Geld wirklich hin? Wenn wir die Ausgabenverteilung aus technischer Perspektive betrachten, zeigen die drei Cluster deutlich, wo unsere Investitionsschwerpunkte liegen und welche Design-Entscheidungen wir getroffen haben.

### Cluster 1: Intelligence & Vision (69 %)

**Investition:** 332,75 €

Warum fließen über zwei Drittel des Budgets in Rechenleistung und Sensorik? Weil autonome Navigation dort entschieden wird – im kognitiven Zentrum des Systems. Der Raspberry Pi 5 übernimmt die Pfadplanung, Sensorfusion per Extended Kalman Filter (EKF) und die Koordination des gesamten ROS 2-Netzwerks. Der Hailo-8L AI-Beschleuniger führt YOLOv8-Inferenz mit 13 TOPS aus und ermöglicht Objekterkennung bei 30 Bildern pro Sekunde – ohne die CPU zu belasten.

**Wie arbeitet der RPLIDAR A1?** Der Laser-Scanner tastet die Umgebung mit 8.000 Samples/s ab – das sind 8.000 Distanzmessungen pro Sekunde. Seine Reichweite erstreckt sich von 0,15 m bis 12 m, bei einer Winkelauflösung von 1°. Für die 2D-Kartierung setzen wir ihn mit `slam_toolbox` ein, dem Standard-SLAM-Framework in ROS 2.

**Die Global Shutter Kamera** nutzt einen Sony IMX296 Sensor mit 1.58 Megapixeln. Der entscheidende Vorteil gegenüber herkömmlichen Rolling-Shutter-Kameras: Wir sehen keine Verzerrungen bei schnellen Bewegungen. Das macht sie ideal für semantische Segmentierung und Objekt-Tracking, wenn sich der Roboter bewegt oder die Kamera schwenkt.

*Warum diese Priorisierung?* Autonome Navigation fordert rechenintensive Algorithmen – und zwar in Echtzeit. Wenn wir in dedizierte KI-Hardware (Hailo) investieren, verhindert das CPU-Überlast und garantiert deterministische Latenzzeiten. Der hohe Anteil von 69 % spiegelt moderne Edge-Computing-Ansätze wider: Die Intelligenz wird dezentral im Roboter verarbeitet, nicht in der Cloud.

### Cluster 2: Mechanik & Antrieb (29 %)

**Investition:** 138,61 €

Wie kombiniert man Kosteneffizienz mit technischer Zuverlässigkeit? Indem man die mechanische Basis aus kostengünstigen Standardkomponenten (AliExpress) aufbaut, aber bei der Ansteuerung (Cytron MDD3A) nicht spart. Diese Strategie minimiert die Initialkosten, ohne die Regelgüte zu kompromittieren.

#### Trade-Off-Analyse:

Wo lohnt sich Qualität, wo kann man sparen? Beim **Motortreiber (Cytron)** haben wir in Qualität investiert: Die PWM-Frequenz von 20 kHz liegt über der Hörgrenze, damit arbeitet der Motor geräuschlos. Eingebaute Schutzfunktionen gegen Überstrom, Überhitzung und Kurzschluss machen das Modul für 8,50 € zum europäischen Standard – kein Vergleich zu billigen China-Treibern ohne Sicherheitsfunktionen.

Beim **Chassis (AliExpress)** haben wir den umgekehrten Weg gewählt: Kostenoptimierung statt Präzision. Das Aluminium-Chassis (2 mm Stärke) kostet nur 16,44 €, während vergleichbare Systeme von Actobotics oder OpenBeam mit 120 € zu Buche schlagen. Was nehmen wir dafür in Kauf? Toleranzabweichungen von etwa  $\pm 0,5$  mm und keine Garantie. Für einen Prototyp, der auf dem Boden fährt, ist das akzeptabel – die Reifen gleichen kleine Ungenauigkeiten aus.

Die **Getriebemotoren (JGA25)** liefern 2,5 N m Drehmoment bei 170 U/min. Das reicht für Nutzlasten bis 5 kg bei einer Geschwindigkeit von  $0,5 \text{ m s}^{-1}$ . Ihre eingebauten Encoder mit 11 Pulsen pro Umdrehung ermöglichen präzise Odometrie – die Grundlage für jede Lokalisierung.

**Warum funktioniert diese Aufteilung?** Die Trennung von günstiger Mechanik (50,91 €) und hochwertiger Elektronik (68,48 €) ist technisch sinnvoll. Die Mechanik stellt geringe Anforderungen an Präzision – der Bodenkontakt toleriert Ungenauigkeiten von einem halben Millimeter. Die Motorregelung dagegen erfordert hohe Güte für stabile PID-Regelung. Hier zu sparen würde uns später teuer zu stehen kommen.

### Cluster 3: Infrastruktur (2 %)

**Investition:** 11,12 €

Warum nur 2 % für Stromversorgung? Weil wir vorhandene 18650-Zellen nutzen statt neue LiFePO4-Akkus zu beschaffen. Der DC/DC-Wandler bildet die Schnittstelle zwischen 12 V-Batterie und 5 V-Logik – mehr braucht es nicht.

**Das Einsparungspotenzial:** Durch Wiederverwendung der Akkus sparen wir 80 €. Der Trade-Off: 600 g mehr Gewicht und geringere Zyklenfestigkeit (500 statt 2000 Ladezyklen bei LiFePO4). Für einen Prototyp, bei dem wir primär die Software testen wollen, ist das akzeptabel.

---

### 3. Budgetbewertung & Optimierungspotenzial

**Gesamtkosten:** 482,48 €

Wie schneiden wir im Vergleich zu typischen Robotik-Projekten ab? Die realisierten Kosten unterschreiten ein typisches Einstiegsbudget für Robotik-Projekte von 750,00 € um **267,52 €** (Einsparung: 35,7 %). Wie haben wir das geschafft? Durch drei strategische Design-Entscheidungen:

**Verzicht auf LiFePO4-Akkus:** Statt neue Akkus zu kaufen, nutzen wir vorhandene 18650-Zellen. Das spart 80 €, kommt aber mit Kompromissen: Die Zellen wiegen 600 g mehr als moderne LiFePO4-Akkus und schaffen nur 500 statt 2000 Ladezyklen. Ein weiteres Risiko: Die BMS-Schutzplatinen aus China bieten keine Zertifizierung – darauf kommen wir bei der Risikoanalyse zurück.

**AliExpress-Mechanik:** Das Aluminium-Chassis stammt aus chinesischer Fertigung statt europäischer Präzisionsmechanik. Einsparung: 120 € gegenüber Actobotics oder OpenBeam. Der Trade-Off: Toleranzabweichungen von  $\pm 0,5$  mm und Lieferzeiten von 3 bis 6. Für einen Prototyp, bei dem wir ohnehin iterieren werden, ist das verkraftbar.

**Eigenleistung Montage:** Wir übernehmen die mechanische Integration selbst, statt eine Werkstatt zu beauftragen. Das bedeutet etwa 8 h Montageaufwand, bringt aber einen entscheidenden Lerneffekt: Wir verstehen die Systemarchitektur von Grund auf – das zahlt sich bei späteren Optimierungen aus.

#### Kritische Bewertung

##### Potenzielle Risiken:

Wo lauern die Probleme? Beginnen wir mit dem **Lieferketten-Risiko bei AliExpress:** Die Bestellungen zeigen Lieferzeiten von 3 bis 6, ohne Expressversand-Option. Verspätungen könnten unsere Projekttermine gefährden. Als Mitigation planen wir eine Parallel-Bestellung bei europäischen Händlern als Backup – kostet mehr, gibt aber Sicherheit.

Die **Qualitätsunsicherheit der BMS-Module** ist das größere Risiko: Die 3S-BMS-Platinen für 5,57 € bieten keine CE-Zertifizierung. Bei Fehlfunktion besteht Brandgefahr durch die LiPo-Akkus – ohne Herstellergarantie oder Produkthaftung. Wir mitigieren das durch extensive Tests vor Inbetriebnahme und einen Rauchmelder im Laborbereich. Klingt paranoid? Lithium-Akkus verdienen Respekt.

Ein **Single Point of Failure** ist der Raspberry Pi 5: Wir haben nur einen. Hardware-Ausfall bedeutet Projektstillstand, die Lieferzeit für Ersatz beträgt 1 bis 2. Eine Backup-Unit für 90 € zu bevorraten wäre sinnvoll – gerade bei einem privaten Projekt, wo Zeit oft wertvoller ist als Geld.

Schließlich die **ungetestete Komponenten-Integration:** Das Hailo-8L AI Kit ist noch nicht vollständig in ROS 2 integriert. Potenzielle Treiberprobleme oder Latenzspiken könnten auftreten. Als Fallback bleibt uns die CPU-basierte Inferenz – mit reduzierter Framerate, aber funktional.

## Optimierungspotenzial für Phase 2

### Sinnvolle Upgrades nach Proof-of-Concept:

Welche Verbesserungen lohnen sich nach erfolgreicher Proof-of-Concept-Phase? Das **Upgrade auf LiFePO4-Akkus** (80 €) bringt eine Gewichtsreduktion von  $-600\text{ g}$  – das entspricht 40 % weniger Masse. Die Lebensdauer steigt von 500 auf 2000 Ladezyklen (Faktor 4), und die inhärente Brandsicherheit (keine thermische Runaway) eliminiert das BMS-Risiko. Bei täglichem Betrieb amortisiert sich die Investition nach 18 Monaten.

Eine **Präzisions-IMU (BNO085, 25 €)** würde die vorhandene MPU6050 ersetzen und den Gyro-Drift von  $0,5^\circ\text{ s}^{-1}$  auf  $0,1^\circ\text{ s}^{-1}$  reduzieren – eine Fünftellung. Die On-Chip-Sensorfusion entlastet die CPU um 15 %, und der Lokalisierungsfehler halbiert sich nach 60 s Fahrt. Das wird kritisch für SLAM in großen Räumen über 20 m.

Ein **Stereo-Kamera-System (zweite Kamera, 55 €)** ermöglicht Tiefenschätzung ohne LiDAR-Abhängigkeit. Die Objektdistanzmessung funktioniert zwischen 0,5 m bis 5 m und erlaubt visuelle Odometrie als Backup. Der Use Case: Navigation in LiDAR-schwierigen Umgebungen wie Glasflächen oder polierten Böden, wo der Laserstrahl versagt.

Das **europäische Präzisions-Chassis (120 €)** bringt Toleranzen von  $\pm 0,05\text{ mm}$  – Faktor 10 besser als das China-Chassis. Das T-Slot-System erleichtert Erweiterungen, standardisierte Schraubenabstände verbessern die Wartbarkeit. Aber ehrlich: Nur sinnvoll bei Serienfertigung oder kommerzieller Nutzung, nicht für unseren Prototyp.

### Technisches Fazit

Was zeigt uns dieses Budget? Autonome Navigation mit kosteneffizienten Komponenten ist möglich, wenn wir die Investitionsschwerpunkte klug setzen. Die Priorisierung auf Intelligence (69 %) folgt dem Edge-Computing-Paradigma: Wir verlagern die Rechenleistung an den Netzwerkrand – direkt in den Roboter.

**Der kritische Erfolgsfaktor:** Die Qualität der Lokalisierung hängt primär von unserer Software-Implementierung ab – vom EKF-Tuning, der SLAM-Parametrierung – nicht von teuren Sensorik-Upgrades. Die gewählte Hardware bildet eine solide Basis für experimentelle Entwicklung mit ausreichender Reserve für Optimierungen in Phase 2. Bei einem privaten Projekt ist das genau der richtige Ansatz: Erst lernen, dann upgraden.

**Wirtschaftliche Perspektive:** Die Einsparung von 35,7 % gegenüber dem Standardbudget ist mehr als nur Sparsamkeit – sie schafft strategische Flexibilität. Wir können das gesparte Geld in weitere Iterationen stecken (Trial-and-Error-Puffer), parallel Backup-Komponenten beschaffen oder gezielt auf Premium-Komponenten upgraden, sobald wir einen klaren Bedarf identifiziert haben. Bei einem privaten Projekt ist diese Reserve oft wertvoller als von Anfang an auf „Premium“ zu setzen.

#### Budget-Zusammenfassung

Referenzbudget: 750,00 € | Realisiert: 482,48 € | Einsparung: 267,52 €

Verfügbare Reserve für Iterationen: 35,7 %

**Investitionsschwerpunkt:** Intelligence (69 %) > Mechanik (29 %) > Infrastruktur (2 %)