

# SmaWoca

## THE SMART WORK CART



### Projektbeschreibung

**Rudolf-Diesel-Fachschule  
Fachrichtung Mechatronik**

**2025 - 2026**

**Von:**

**Eric Braunert  
Markus Felder  
Nico Herrmann  
Winsten Kiener**

**RDF**



[linktr.ee/smawoca](https://linktr.ee/smawoca)

**Nürnberg, den 14.04.2026**

# Projektidee

## 1.1 Grundkonzept

Der **SmaWoCa** (Smart Work Cart) ist ein intelligenter Werkstattwagen, der die Organisation und Bereitstellung von Werkzeugen durch den Einsatz moderner Automatisierungs- und Informationstechnik revolutioniert. In modernen Werkstatt- und Industrieumgebungen ist Effizienz entscheidend; der SmaWoCa minimiert Suchzeiten und optimiert Arbeitsprozesse durch eine intuitive Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine.

## 1.2 Die Problemstellung

In der handwerklichen Praxis stellt die schnelle Verfügbarkeit des richtigen Werkzeugs oft einen Flaschenhals dar. Klassische Werkzeugwagen bieten zwar Stauraum, erfordern aber manuelles Suchen und eine strikte Disziplin bei der Ordnung. Der SmaWoCa löst dies durch eine aktive Unterstützung des Nutzers.

## 1.3 Kernfunktionen

- **KI-Sprachsteuerung:** Der Anwender kann benötigte Werkzeuge einfach per Sprachbefehl anfordern.
- **Automatisches Verfahren:** Das System identifiziert die korrekte Schublade und öffnet diese.
- **Visuelle Indikation:** Innerhalb der geöffneten Schublade wird das spezifische Werkzeug durch eine LED optisch hervorgehoben.
- **Sichere Umgebung:** Dank lokaler Datenverarbeitung ist das System unabhängig von Internetverbindungen und schützt sensible Audiodaten.

# Technische Anforderungen und Systemarchitektur

## 2.1 Hardware-Spezifikationen

Für die Realisierung wurden Komponenten gewählt, die industrielle Zuverlässigkeit mit hoher Leistungsdichte vereinen:

Parameter	Wert / Spezifikation
Betriebsspannung	230 V AC (Versorgung) / 24 V DC (Antriebe)
Aktorik	6 x NEMA 17 Schrittmotoren (59 Ncm)
Steuerungs-Rechenleistung	ESP32 Dual-Core (240 MHz) für Echtzeit-Operationen
KI-Plattform	Whisper AI auf dedizierter GPU-Hardware
Netzwerk	Kabelgebundenes Ethernet via W5500-Controller (MQTT)

## 2.2 Systemarchitektur

Das System basiert auf einer verteilten Architektur, um rechenintensive Prozesse von sicherheitskritischen Steuerungsaufgaben zu trennen:

1. **High-Level-Ebene:** Ein zentraler Rechner übernimmt das Audio-Capturing und die KI-gestützte Transkription mittels Whisper AI.
2. **Low-Level-Ebene:** Ein ESP32-Mikrocontroller koordiniert die Motorentreiber (TMC2209), wertet die Endlagensensoren aus und steuert die LED-Visualisierung.
3. **Kommunikationsschicht:** Der Datenaustausch erfolgt über das MQTT-Protokoll in einem isolierten lokalen Netzwerk.

# Mechanische Konstruktion und Bauraumlösung

## 3.1 Die Bauraum-Herausforderung

Die größte mechanische Hürde war die Integration der Antriebstechnik in den bestehenden Bauraum eines Milwaukee-Werkstattwagens. Zwischen der Rückwand der Schubladen und dem Wagengehäuse standen lediglich **60 mm** Tiefe zur Verfügung.

## 3.2 Antriebskonzept

Um diese Restriktion zu überwinden, wurde ein quermontierter Antrieb realisiert:

- **Getriebelösung:** Einsatz eines 90° Kegelradgetriebes mit Hochleistungspolymer-Zahnradern (igus P360).
- **Kraftübertragung:** Trapezgewindespindeln (TR8x8) übersetzen die Rotationsbewegung der NEMA 17 Motoren in eine präzise Linearbewegung.
- **Fertigung:** Die Motorhalterungen wurden additiv aus ASA-Kunststoff gefertigt und verfügen über Langlöcher zur Feinjustierung, um mechanische Toleranzen auszugleichen.

## 3.3 Technik-Integration und Kabelmanagement

- **Technikschublade:** Die unterste Schublade wurde als zentrale Steuereinheit umfunktioniert und beherbergt die IT-Hardware sowie das custom PCB auf einem isolierten Geräteträger.
- **Energieketten:** Insgesamt 12 Energieketten führen die Kabelbündel (12 Sensorkabel, 6 Motorkabel, LED- und Busleitungen) sicher und verhindern Verfangen oder Kabelbruch während des Betriebs.

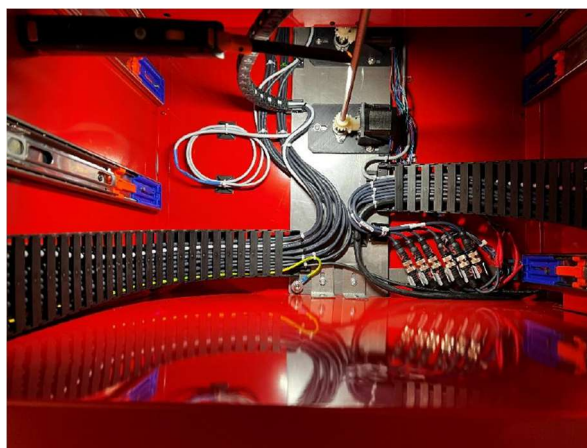


Abbildung 1 - Energieketten Technikschublade

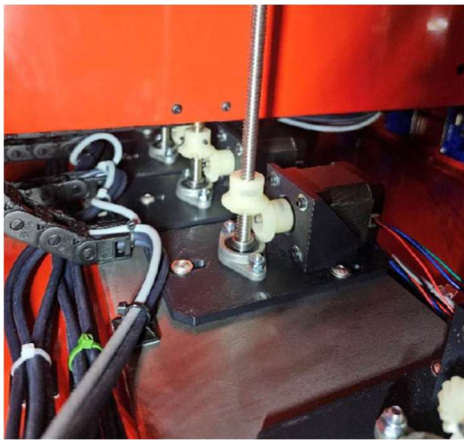


Abbildung 2 - Montierte Antriebslösung

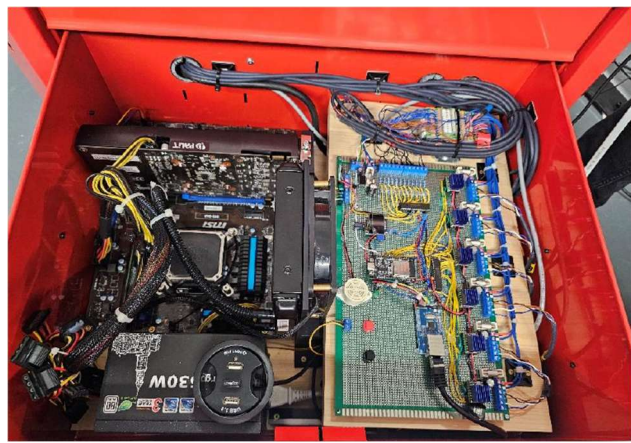


Abbildung 3 - Technikschublade

## Software-Entwicklung und KI-Implementierung

### 4.1 Lokale Sprachverarbeitung mit Whisper AI

Um eine flüssige Sprachsteuerung ohne Cloud-Anbindung zu realisieren, wurde das Modell **OpenAI Whisper (Variante: "small")** implementiert.

- **Zyklus:** Das System arbeitet in einem 4-Sekunden-Aufnahmezyklus.
- **Optimierung:** Zur Beschleunigung der Spracherkennung greifen die Bibliotheken direkt auf die CUDA-Schnittstelle der Grafikkarte zu.

### 4.2 Robuste Logik und Fehlerkorrektur

Da neuronale Netze Sprache ungleichmäßig transkribieren (z. B. "10er" vs. "zehner"), wurde eine dreistufige Normalisierung programmiert:

1. **Zahlwort-Konvertierung:** Wandelt gesprochene Wörter in numerische Werte um.
2. **String-Komprimierung:** Entfernt Leerzeichen und Bindestriche, um einen exakten Abgleich mit der Werkzeug-Datenbank zu ermöglichen.
3. **Längensortierung:** Verhindert, dass kurze Substrings (z. B. "Hammer") fälschlicherweise längere Begriffe (z. B. "Schonhammer") überlagern.

### 4.3 ESP32 Firmware-Features

Die Firmware wurde für maximale Performance und Sicherheit in C++ entwickelt:

- **Non-Blocking-Code:** Simultane Abarbeitung von Positionsberechnungen, Motorbewegungen und Netzwerkkommunikation.
- **Multi-Bus-System:** Parallele Nutzung von SPI (Ethernet), I2C (I/O-Expander/Display) und UART (Motorparametrierung).

# Sicherheit, Visualisierung und Ausblick

## 5.1 Sicherheitskonzept

- **Elektronischer Klemmschutz:** Dank der TMC2209-Treiber kann der Motorstrom per Software geregelt werden. Auf den letzten 100 mm des Schließvorgangs wird der Phasenstrom drastisch gesenkt. Bei einem Hindernis verliert der Motor kraftlos Schritte (Stall), bevor Quetschkräfte entstehen.
- **Kippschutz (Interlock):** Die Software verriegelt die Achsen logisch gegen ein simultanes Öffnen mehrerer Schubladen, um die Standfestigkeit des Wagens zu garantieren.

## 5.2 Optische Benutzerführung

Die Visualisierung erfolgt über adressierbare **WS2812B-LEDs**:

- **Werkzeugmarkierung:** 100 LEDs sind direkt in die Schaumstoffeinlagen eingelassen.
- **Statusleiste:** Ein externer LED-Streifen zeigt Systemzustände (Fahrt, Standby, Fehler) durch animierte Farbmuster an.

## 5.3 Projektabschluss und Zukunft

- **Erfolgreicher Test:** Das Gesamtsystem wurde auf der Messe *rdf.connect* unter Realbedingungen erfolgreich präsentiert.
- **Potential:** Eine zukünftige Erweiterung könnte eine RFID-basierte Bestandserfassung oder eine optische Kamera-Erkennung zur vollständigen Inventar-Überwachung beinhalten.