

DOKUMENTATION

Future Engineers 2024

robofactory (Jesse Born, Julian von Hoff)



April 2024

Eingereicht bei der WRO Regio in Waldkirch bei Freiburg

1 MOTORIZIERUNG

Als Hauptantrieb verwenden wir eine Handelsübliche Kombination aus Fahrtenregler und Motor, die aus dem Modellbau stammt. Wir nutzen wir einen 21.5 T gewickelten BLDC/brushless Motor von Tamiya mit eingebautem Drehgeber und das dazugehörige ESC TBLE-04SR. Über ein Differentialgetriebe und eine gesamthafte Untersetzung um den Faktor 3.122:1 bringt unser Fahrzeug seine Motorleistung über einen Heckantrieb auf den Boden. Unsere Räder bestehen aus Felgen, die im Lieferumfang unseres Chassis dabei waren, so wie 56x28 mm Reifen von LEGO.

Zur Steuerung des Roboterautos ist ein Ämewi AMX Racing DC5821LVSServo verbaut. Dieser wurde aufgrund der hohen Auflösung und Geschwindigkeit gewählt.

Um mit dem Raspberry Pi das ESC und den Servo anzusteuern, werden 2 PWM-Ausgänge benötigt. Mit einem eigenen HAT, der direkt auf den 40-Pin-Erweiterungsstecker des Pi gesteckt werden kann, brechen wir diese Stecker passend aus.

2 ENERGIE & SENSOREN

Der einzige Sensor, den wir verbaut haben, ist eine RGB-D Kamera von Orbbec, eine Ästra Embedded S". Dieses verhältnismässig preiswerte Auslaufprodukt ermöglicht nebst der klassischen Webcamfunktion auch das Erfassen von Tiefeninformation mithilfe von strukturiertem Infrarotlicht. Via USB / UVC-Protokoll wird das Kamerabild an unseren Hauptrechner, einen Raspberry Pi 4B übertragen.

Die Stromversorgung erfolgt über einen sechszelligen NiMh-Akku. Um den Raspberry Pi mit Strom zu versorgen, wird ein BEC (Battery Eliminator Circuit) aus dem Modellbau verwendet. Mit den Pins 2 und 6 des GPIO-Headers des Pi wird dieser schlussendlich mit Strom versorgt. Genau dieses technische Detail bereitete uns am meisten Kopfschmerzen sowie ein totes Raspberry Pi. Wir konnten jedoch nicht genau feststellen, weshalb der Pi seinen "magischen Rauch" freigab. Unsere beste Hypothese ist eine fehlende "flyback" Diode.

3 HINDERNISSE & ALGORITHMEN

Das von unserer Kamera erfasst RGB- bzw. BGR-Bild folgt nun 2 Pfaden: Der erste ist dafür zuständig, während dem Hindernisrennen die farbigen Hindernisse zu registrieren. Entlang dem zweiten Pfad werden mittels Graustufenbild und Hough-Lines-Algorithmus die Banden des Spielfeldes erfasst und auf einem virtuellen Spielfeld lokalisiert.

3.1 BÄNDEN

Als erstes erstellen wir ein Bild, in dem nur alle (fast) schwarzen Pixel abgebildet sind. Darin suchen wir anschliessend nach kontrastreichen Kanten. Haben wir die Kanten gefunden, segmentieren wir mittels probabilistischer Hough-Transformation zusammenhängende Kanten aus. Nun filtern wir diese Ecken weiter, wir überspringen dabei alle Linien, welche:

1. keinen Endpunkt in einem 80 Pixel hohen Streifen um die Bildmitte haben
2. eine Länge von Null haben
3. komplett über der Bildmitte liegen

4. vertikal im Bild stehen

So erhalten wir pro Wand eine Linie an der unteren Kante dieser an der Stelle, wo sie auf die Spielfeld-Matte trifft. Mittels des 2. Strahlensatzes können wir nun den Abstand schätzen.

$$d = \frac{1}{(y_{Endpunkt} - y_{Bildmitte})} * s_d$$

(*d*: Abstand, *y_{Endpunkt}*: y-Koordinate eines Linienendpunktes im Bild, *y_{Bildmitte}*: Parallaxenmitte des Kamerabildes und *s_d*: konstanter Faktor, der sich zwar aus den intrinsischen Kameraparametern ableitet, jedoch experimentell bestimmt wurde.)

Wände werden nun in drei Klassen unterteilt:

- Rechts: Eine Wand am rechten Bildrand
- Links: Eine Wand am linken Bildrand
- Mitte: Eine Wand, deren Steigungswinkel unter 0.05 (rad) liegt.

Diese Klassifizierung wird auch zu Beginn des Laufs zur Feststellung der Rundenrichtung verwendet – ist eine linke Wand sichtbar, wird im Uhrzeigersinn gefahren.

3.2 STARTRICHTUNG

Zu Beginn des Laufs ist nur jeweils eine mittlere Wand sowie eine rechte oder linke Wand sichtbar. Ist eine linke Wand sichtbar, ist die Umlaufrichtung für diese Runde im Uhrzeigersinn – ist es eine rechte Wand im Gegenuhrzeigersinn.

3.3 FARBENE HINDERNISSE

Das originale RGB-Bild wird in den HSV-Farbraum umgerechnet, um rot und grün deutlich unterscheiden zu können. Diesen Trick kennen und nutzen wir bereits seit mehreren Jahren in der Kategorie RoboMission der WRO. Pixel, die jetzt zwischen der Rot- oder Grüngrenzen liegen, werden als der Farbe entsprechend gespeichert. Auf diesen Binärbildern werden nun die Konturen erkannt und die Mittelpunkte sowie die Breite und Höhe bestimmt.

Analog zu oben, jedoch nur mit der Höhe des erkannten Umrisses, wird mittels Strahlensatz der Abstand zum Hindernis geschätzt.

3.4 STEUERSIGNAL

Mit dem Abstand gewichtet wird nun für jedes erkannte Objekt, also Bänder und Hindernisse, dessen bevorzugte Richtung in einen Wert summiert.

$$s := \frac{\sum \frac{1}{d_i}}{T}$$

Dieser Wert wird dann auf das geschlossene Intervall $[-1; 1]$ normalisiert. Der normalisierte Wert wird dann auf den Lenkanschlag des Servos abgebildet, so dass 0 auch einem gerade getrimmten Auto entspricht.

$$\alpha := [\frac{s}{16.0}]_{-1}^1$$

3.5 ENDE DER RUNDE

Um am Ende der Runde im Startbereich stoppen zu können, zählen wir, wie oft wir um eine Ecke biegen. Dies funktioniert, da während des Umfahrens einer Ecke keine mittleren Wände erkannt werden. Wir während mehr als ca. 600ms keine mittlere Wand erkannt, zählen wir um eins hoch. Erreicht der Zähler ≥ 12 und das Auto sieht eine mittlere Wand $\leq 1600\text{mm}$ vor sich, beendet es den Lauf automatisch.

3.6 PROGRAMMIERUNG

Bei der Programmierung setzen wir auf Python. Wir setzten ausserdem extensiv auf die Pakete opencv-python sowie NumPy. Mittels dieser Pakete erreichen wir einen hohen Grad an paralleler Bildverarbeitung, was uns eine Verarbeitungsrate von ca. 30 Hz ermöglicht (wenn die Kamerabilder nicht per WiFi gestreamt werden).

Der Code wird bewusst funktional gehalten, nur vereinzelt werden objektorientierte Muster genutzt.



The screenshot shows a code editor window with three colored status indicators at the top: red, yellow, and green. The main area contains the following Python code:

```
def findWallLines(edgesImg):
    lines = cv2.HoughLinesP(edgesImg, 1, np.pi/360,
                           threshold = houghparams['threshold'],
                           minLineLength = houghparams['minLineLength'],
                           maxLineGap = houghparams['maxLineGap'])

    if lines is not None:
        lines = list(lines)
    else:
        lines = []
    lines.sort(key=lambda x: x[0][0])

    filteredLines = []
    for line in lines:
        x1, y1, x2, y2 = line[0]
        if y1 == 0 or y2 == 0:
            continue
        if abs(y1 - centerheight) > centerstripheight and abs(y2 - centerheight) > centerstripheight:
            continue
        if y1 < centerheight or y2 < centerheight:
            continue
        if abs(math.atan2(y2-y1, x2-x1)) > math.pi/3:
            continue
        filteredLines.append([x1 + depthOffsetX, y1 + depthOffsetY, x2 + depthOffsetX, y2 + depthOffsetY])
    return filteredLines
```

Abb. 1: Auszug aus dem Code: Wanderkennung

```

● ● ●

...
    color_frame = frames.get_color_frame()
    depth_frame = frames.get_depth_frame()

    if color_frame is None or depth_frame is None:
        continue

    color_image = n    flip(frame_to_bgr_image(color_frame), 0)
    depth_data = p.   flip(np.flip(process_depth_frame(depth_frame), 0), 1)
                      p.

    [edgesImg, blurredG, blurredR, greyImg] = filter(color_image)

    contoursG = getContours(blurredG, depth_data)
    contoursR = getContours(blurredR, depth_data)

    newLines = findWallLines(edgesImg)
...

```

Abb. 2: Auszug aus dem Code: Hauptschleife

```

● ● ●

seen_left_wall = False
seen_right_wall = False
seen_center_wall = False

for line in newLines:
    x1, y1, x2, y2 = line
    d1 = estimateWallDistance(x1, y1)
    d2 = estimateWallDistance(x2, y2)

    wall_dist = (d1 + d2) / 2
    if -0.05 < np.arctan2(y2-y1, x2-x1) < 0.05:
        classifiedobjects += [[CENTER, wall_dist]]

    last_center_wall_at = time.time_ns() // 1000000
    seen_center_wall = True

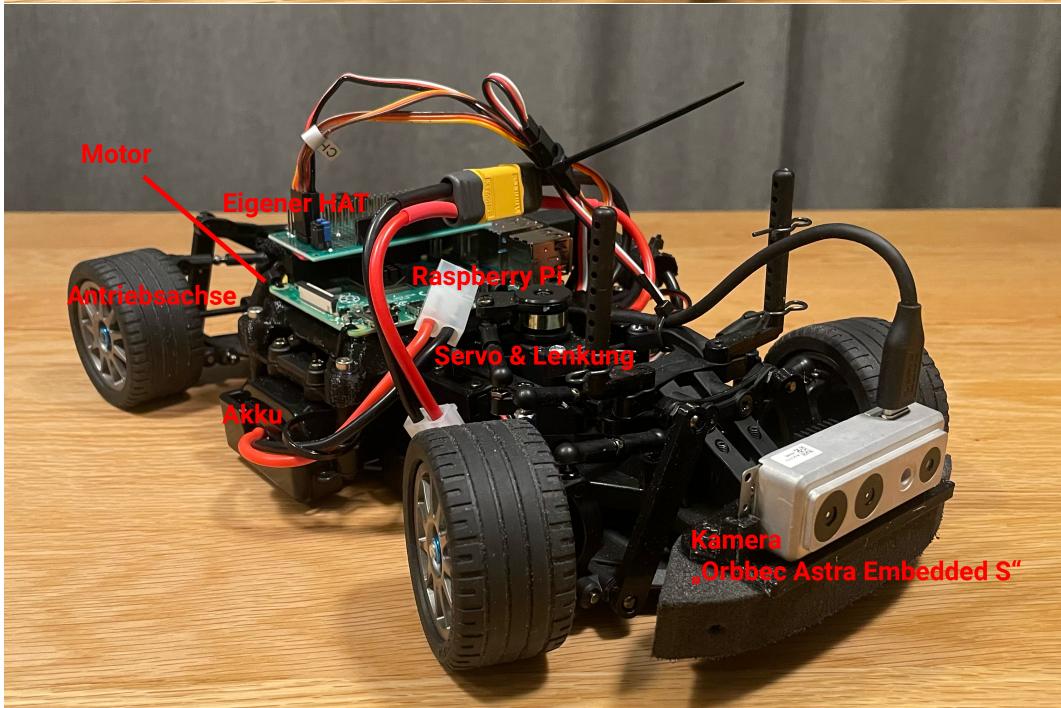
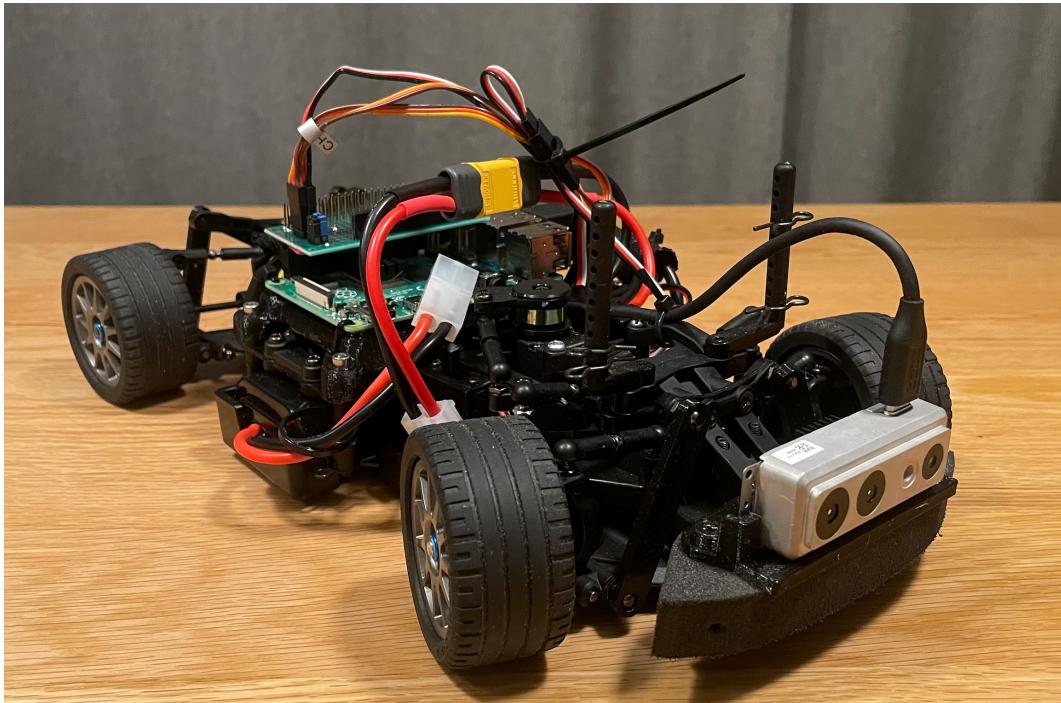
    elif (x1 + x2) / 2 - 320 > 0:
        # print("right wall")
        seen_right_wall = True
        classifiedobjects += [[RIGHT, wall_dist]]
    else:
        # print("left wall")
        seen_left_wall = True
        classifiedobjects += [[LEFT, wall_dist]]

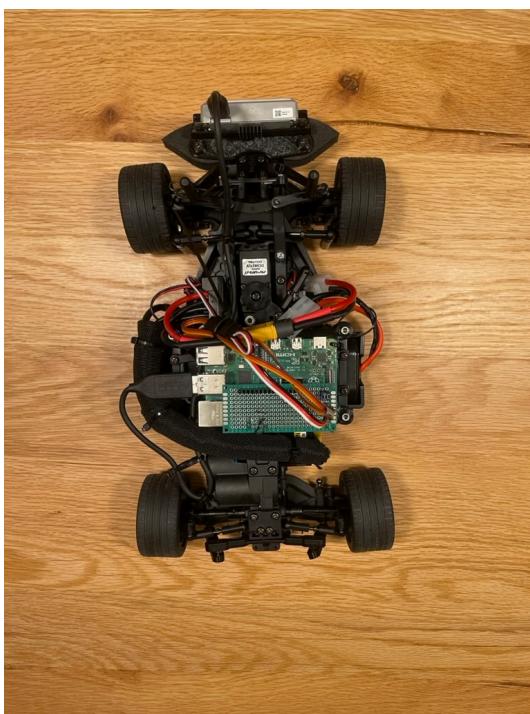
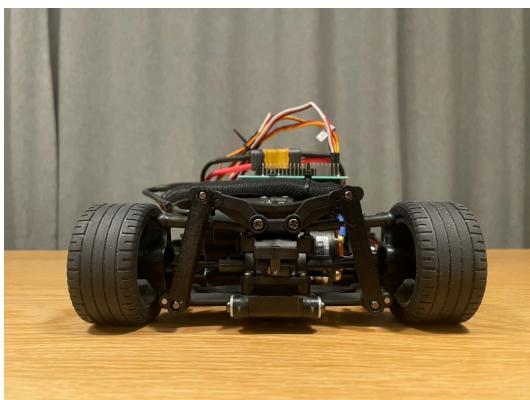
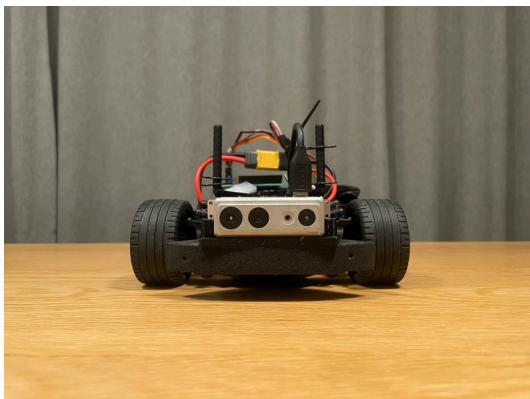
if direction == 0:
    if seen_left_wall and not seen_right_wall:
        direction = 1
        print("[ROUNDDIRECTION SET CW]")
    if seen_right_wall and not seen_left_wall:
        direction = -1
        print("[ROUNDDIRECTION SET CCW]")

```

Abb. 3: Auszug aus dem Code: Wandklassifizierung

4 FOTOS





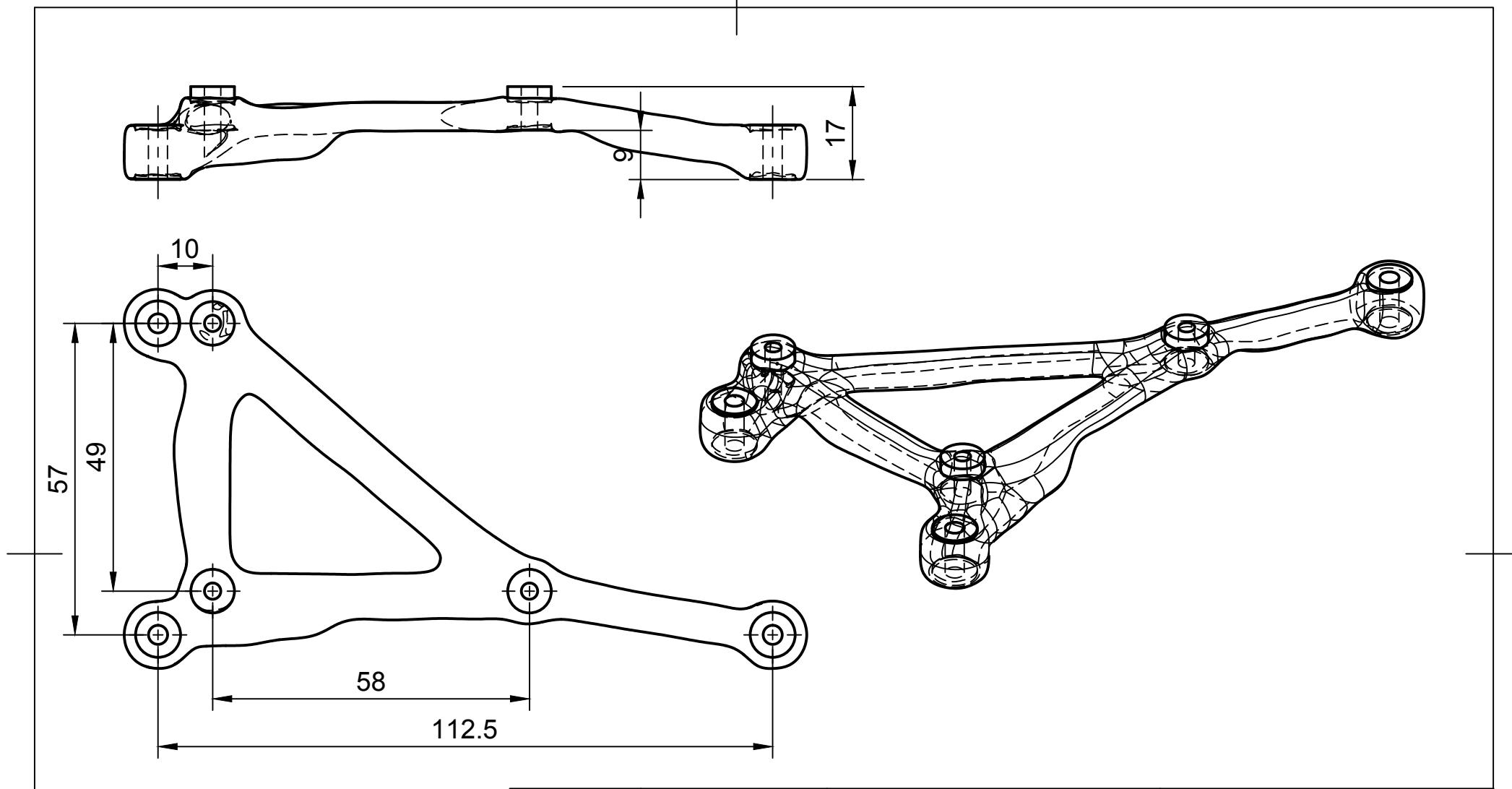
5 ENGINEERING & DESIGN

Der Bausatz des Chassis stammt ebenfalls aus dem Hause Tamiya – den Klassiker M-08 Concept haben wir modifiziert, dass der Einschlag der Lenkung grösser und die Federung so steif wie nur möglich ist. (Siehe Kapitel ”3 - Hindernisse“). Die vordere Stossstange, bestehend aus einem dichten Schaumstoff haben wir an der Bandsäge gekürzt, sodass die Gesamtlänge des Autos auch in die vorgegebenen 300 mm passt. Ergänzt haben wir den fahrbaren Unterbau mit einer Kamerahalterung über der vorderen Stossstange. Die Kamera hält darin reibungsbasiert und lässt sich für Wartungsarbeiten rund um diese leicht entfernen. Aus Notdurft – um unseren Wanderkennsalgorithmus zu unterstützen – haben wir die hydraulische Federung des Chassisbausatzes mit soliden, 3-D-gedruckten Teilen ersetzt. Damit vermeiden wir, dass unser Auto rollt oder nickt – denn dies macht die visuelle Distanzschätzung ungenau bis unbrauchbar. Um unsere Recheneinheit auf dem Auto zu befestigen, haben wir eine Halterung 3-D-gedruckt. (Siehe Anhang)

Die Entscheidung zu einem bestehenden Bausatz, welcher gerade in die zur Verfügung stehende Maximalgrösse passt, hat praktische Gründe. Durch das Vermeiden von Problemen mit der Hardware des Roboters sollten wir uns ganz auf die Programmierung sowie elektromechanischen Aspekte konzentrieren können.

6 ANHÄNGE

- Konstruktionszeichnung Raspberry-Pi-Halterung
- Konstruktionszeichnung Kamerahalterung
- Schaltplan Stromversorgung



Dept.	Technical reference	Created by Jesse Born	Approved by
		29.04.24	
	Document type	Document status	
	Title Raspberry PI mount	DWG No.	
Rev.	Date of issue	Sheet	1/1

