

Integration eines Unitree Go1 Quadruped Roboters in ein Hochschul-Ökosystem

M a s t e r a r b e i t

**Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hof
Fakultät Informatik
Studiengang Master Informatik**

**Vorgelegt bei
Prof. Dr. Christian Groth
Alfons-Goppel-Platz 1
95028 Hof**

**Vorgelegt von
Noah Lehmann**

Hof, 27. Juli 2023

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Hintergrund und Kontext	1
1.2	Zielsetzung und Methodik	1
1.3	Eingrenzung der Arbeit	3
2	Grundlagen	4
2.1	Begriffe	4
2.1.1	Robotik	4
2.1.2	Künstliche Intelligenz	5
2.1.3	Webkommunikation	5
2.1.4	Internet of Things	5
2.1.5	Einordnung	5
2.2	Herausforderungen	5
2.2.1	Netzwerk, Latenz, Resilienz...	5
2.3	Stand der Forschung	5
3	Roboterarchitektur und Systemkomponenten	6
3.1	Aufbau	6
3.1.1	Überblick	6
3.1.2	Mechanische Komponenten	8
3.1.3	Hardware und Sensorik	9
3.2	Inbetriebnahme	10
3.3	Hardware Architektur	10
3.3.1	Überblick	10
3.3.2	Kernelemente	10
3.3.3	Netzwerk	10
3.3.4	Überblick	11
3.3.5	Spezialisierte Hardware	13
3.4	Limitierungen	13
3.4.1	Rechenleistung	13
3.4.2	Physische Limitierungen	13
4	Analyse des Roboters	14
4.1	Vorgehensweise	14
4.2	Funktionen	14
4.2.1	Fernsteuerung	14
4.2.2	Lokales Netzwerk	14
4.2.3	Monitoring	14
4.2.4	Audio Interfaces	14
4.2.5	Video Streaming	14
4.2.6	Sensorik	14
4.2.7	Batterie Management	14

5	Funktionserweiterungen und Integration	15
5.1	Vorbereitungen	15
5.1.1	Externer Server	15
5.1.2	Protokolle	15
5.2	Resilienz	15
5.2.1	BMS	15
5.3	Konnektivität	15
5.3.1	Wifi	15
5.3.2	GSM	15
5.3.3	Bluetooth	15
5.3.4	Resilienz	15
5.4	Funktionsauslagerung	15
5.4.1	Auslagerung Rechenleistung	15
5.4.2	Fernsteuerung	15
5.4.3	Synchronisation	15
5.4.4	RTSP Server	15
6	Fazit	16
6.1	Rückblick	16
6.2	Einschätzung	16
6.3	Potential	16
6.4	Nächste Schritte	16
6.4.1	Software Upgrades	16
A	Listings	18

Abbildungsverzeichnis

1	Überblick über den Go1 (Unitree Robotics Go1 Edu)	6
2	Mechanische Komponenten des Go1	8
3	Sensorik und Daten des Laufapparats	10
4	Darstellung der verbauten Kamera und Sensorik	11
5	Vogelperspektive mit Hardware	12
6	Überblick über Netzwerkkonfiguration	13

Abkürzungsverzeichnis

Go1	Unitree Robotics Go1 Edu	IV, 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11
HAW Hof	Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hof	1, 2
IP	Internetprotocoll	12, 13
KI	Künstliche Intelligenz	1, 2, 3, 4
MCU	Main Control Unit	9, 11, 12
ML	Machine Learning	14
NM	Newton/Meter	9
RAM	Random Access Memory	11
WWAN	Wireless Wide Area Network	10, 13

Listings

1	buffer-overflow.c: C Programm Buffer Overflow	18
---	---------------------------------------------------------	----

Tabellenverzeichnis

1 Einleitung

In der jüngeren Vergangenheit haben Roboter und Automationen im industriellen und privaten Gebrauch immer stärker an Relevanz gewonnen. So soll laut Statista die Anzahl der weltweit verwendeten Roboter 2027 im Vergleich zu diesem Jahr (2023) um fast 20% auf 4.9 Millionen Einheiten steigen. Im Vergleich zu 2016 sind das sogar über 80%.¹ Gründe hierfür sind unter anderen besonders die Entwicklung und Verfügbarkeit immer kostengünstigerer und leistungsfähigerer Sensoren, die jüngere Entwicklungen im Bereich der KI (Künstliche Intelligenz), die Miniaturisierung der benötigten Bauteile und letztlich auch die anbahnende Breitentauglichkeit der Programmierung durch Sprachen wie *Python*.

Formulierung

Nachweise

Durch die weite Verbreitung der Roboter und das erhöhte Interesse der Wirtschaft entstehen vermehrt neue Formen von Robotern. Zu diesen gehören Iterationen der bekannten Formen, wie einarmige Industrieroboter, humanoide Roboter - auch Androide genannt - oder Tierwesen nachempfundene Formen - zoomorphe Roboter, wie beispielsweise sechsbeinige Roboter. Die hohe Entwicklungsrate und der rasante Fortschritt auf diesem Gebiet führt einerseits zu sehr fähigen Geräten, deren Einsatzgebiete aber auf der anderen Seite oftmals nicht oder kaum erforscht sind. Unter anderem durch die Erfolge des Unternehmens *Boston Dynamics* und besonders deren Roboter *Spot* ist die zoomorphe Form des Hundes in der breiten Masse der Anwender bekannt geworden. Die folgende Arbeit setzt sich mit dem Umgang und der Weiterentwicklung solcher vierbeinigen Roboter auseinander.

1.1 Hintergrund und Kontext

Im Zuge des Ausbaus der Robotik in der Lehre und Forschung der *HAW Hof (Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hof)* hat die Fakultät Informatik der Hochschule zwei Roboter des Modells *Go1 Edu* der Marke *Unitree Robotics* beschafft. Im Vergleich zu einigen Alternativprodukten dieser und anderer Firmen ist der *Go1* sehr kostengünstig in der Anschaffung und besonders flexibel einsetzbar. Die offenen Schnittstellen des *Go1* machen ihn ebenfalls für Forschungsinstitute besonders interessant. Der genaue Funktionsumfang und die potenziellen Einsatzgebiete des Roboters werden im späteren Verlauf der Arbeit genauer erläutert. Das folgende Kapitel grenzt den Umfang der Arbeit genauer ein.

1.2 Zielsetzung und Methodik

¹Sophie Fischer. *Robotics – Market data analysis & forecasts*. Statista Technology Market Outlook. Statista, Aug. 2022. URL: <https://de.statista.com/statistik/studie/id/116785/dokument/robotics-report/> (besucht am 04. 07. 2023).

Ziel
klarer
definieren,
was
macht
die Arbeit??

Trotz des Themas *Integration eines Unitree Go1 Quadruped Roboters in ein Hochschul-Ökosystem* beschäftigt sich diese Arbeit weniger mit dem Thema *Robotik* und dem eng gekoppeltem Themenbereich der KI. Stattdessen liegt der Fokus auf der Integration und Funktionserweiterung des Roboters innerhalb eines bestehenden IT-Ökosystems und der Umgebung, in dem dieses eingerichtet ist. Das Umfeld ist in diesem Fall exemplarisch das der HAW Hof. Konkret besteht das Ökosystem der Hochschule aus folgenden Teilbereichen:

- Studierende, Mitarbeiter und Besucher des Campuses
- Flächen und Gebäude
- IT-Infrastruktur inklusive des Rechenzentrums
- Lehr- und Forschungsinhalte

Ziel dieser Arbeit ist es, die Einsatzbereiche des Go1 so zu testen, dass sie dem Ökosystem der HAW Hof möglichst viel Nutzen bereiten.

Bewertungskriterien

Das Ziel soll Schrittweise erreicht werden. Anfangs werden einige Grundlagen erläutert und definiert. So wird genauer auf Begriffe wie *Robotik* und *KI* eingegangen, bevor diese im Laufe der Arbeit weiter vorausgesetzt werden. Zudem wird in diesem Schritt auch eingegrenzt, welche Teilbereiche dieser Fachgebiete relevant für den Verlauf der Arbeit sind.

Im zweiten Schritt wird der in dieser Arbeit referenzierte Go1 genauer betrachtet. Die einzelnen Bauteile werden aufgegliedert und ihre Funktion beschrieben. Abschließend zu diesem Schritt soll noch die Zusammenarbeit der Komponenten erläutert werden. Nachdem der *Ist*-Stand des Roboters erklärt wurde, wird die im Lieferumfang ab Werk enthaltene Funktion gezeigt und dokumentiert. Zur Inbetriebnahme des Go1 benötigt es vorerst kein Wissen über die internen Steuerkomponenten.

Diese werden im nächsten Schritt genauer betrachtet. Die Systemarchitektur und die Funktionen der einzelnen Hardware-Bauteile sollen genau dokumentiert werden. Zudem wird hierbei auch die Kommunikation des Gesamtsystems in sich, als auch mit externen Komponenten wie Fernbedienungen und Endgeräten dokumentiert. Hierzu werden auch die Limitierungen des Roboters im Werkszustand aufgelistet.

Als Nächstes wird darauf eingegangen, welche Schritte am Roboter getätigt werden können, um ihn sinnvoll in das HAW Hof Ökosystem zu integrieren. Die einzelnen Möglichkeiten werden dann genauer aufgeschlüsselt und erläutert sowie bewertet. Des Weiteren sollen dann die finalen Limitierungen des Roboters und mögliche zusätzliche Erweiterungen gezeigt

Wie
wird
Nutzen
bewer-
tet?

In Glei-
derung
noch
kommu-
nikation
einfü-
gen
oder in
Proto-
kollen

werden. Abschließend wird bewertet, inwiefern die Eingliederung eines Go1 Roboters sinnvoll ist und welches Potenzial dieses Vorgehen birgt.

1.3 Eingrenzung der Arbeit

Diese Arbeit ist im Allgemeinen auf die Integration in ein Ökosystem und die Funktionserweiterung des Go1 in diesem Zug limitiert. Das umfasst, dass Erweiterungen der Funktion im Bereich der Robotik und KI auf der Hardware des Roboters selbst nur inkludiert sind, wenn diese zweckdienlich und zwingend notwendig für eine Erweiterung im Sinne der oben genannten Integration ist. _____

Was
wird
nicht
ge-
macht?

2 Grundlagen

2.1 Begriffe

Zur Einführung in die tatsächlichen Inhalte der Arbeit sollen die Begriffe *Robotik* beziehungsweise *Roboter* und *KI* genauer erläutert werden. Durch die Erklärung und Abgrenzung der Begriffe und ihrer Relevanz für diese Arbeit wird im Anschluss noch die Verbindung der Bereiche erläutert.

2.1.1 Robotik

Wie der Titel dieser Arbeit „Integration eines Unitree Go1 Quadruped Roboters in ein Hochschul-Ökosystem“ erkennen lässt, handelt diese Arbeit hauptsächlich vom Umgang und dem sinnvollen Einsatz eines Roboters. Das Fachgebiet, welches sich mit Robotern beschäftigt, bezeichnet sich trivialerweise mit dem Begriff *Robotik*.

Die Definition des Wortes *Roboter* ist hingegen nicht so trivial. So beziehen sich viele wissenschaftliche Definitionen oftmals genauer auf Industrieroboter, welche den einfachen Zweck der Entlastung menschlicher Arbeitskräfte haben. In der Gesellschaft werden Roboter jedoch oftmals als Maschinen verstanden, die dem Menschen oder anderen bereits bekannten Kreaturen sehr ähnlich sind.² Allgemein lässt sich das Wort *Roboter* vermutlich mit folgender Definition weit fassend beschreiben:

[...] Automat, der ferngesteuert oder nach Sensorsignalen bzw. einprogrammierten Befehlsfolgen anstelle eines Menschen bestimmte mechanische Tätigkeiten verrichtet³

Geschichtlich ordnen sich die ersten Ideen, die heute mindestens entfernt der Robotik zuzuordnen sind, in die Zeit der Antike ein. Die Idee der Maschine, welche dem Menschen einfache Arbeiten abnehmen kann oder derer, die von menschlicher Hand gefertigt den Menschen gleich ist, hat seit dem über die gesamte vergangene Zeit die Kreativen der Welt begeistert. Von automatisierten Maschinen aus den Skizzenbüchern des *Da Vinci* bis hin zu den ersten Mensch-ähnlichen Maschinen der Firma *Honda* in den späten 1990-ern.⁴ Der Vielfalt der Robotik entgegen wird sich diese Arbeit außerhalb der Grundlagenbereiche ausschließlich mit vierbeinigen Robotern auseinandersetzen, welche oftmals durch ihre Ähnlichkeit mit Hunden herausstechen.

²Helmut Maier. *Grundlagen der Robotik*. VDE Verlag GmbH, 2016.

³Dudenredaktion (o. J.) „*Roboter*“ auf *Duden online*. 2023. URL: <https://www.duden.de/node/122491/revision/1296035> (besucht am 03.07.2023).

⁴Maier, s. Anm. 2.

Einordnung
relevanz
allge-
meiner
Robotik
für
arbeit

relevant?

2.1.2 Künstliche Intelligenz

2.1.3 Webkommunikation

2.1.4 Internet of Things

2.1.5 Einordnung

2.2 Herausforderungen

2.2.1 Netzwerk, Latenz, Resilienz...

2.3 Stand der Forschung

3 Roboterarchitektur und Systemkomponenten

Folgendes Kapitel beschreibt den physischen Aufbau des Go1 und die Konfiguration dessen im Werkzustand. Um die Komplexität des Systems besser verstehen zu können, wird der Aufbau in mehreren Schritten erklärt. Zuerst soll der äußere Aufbau dargestellt werden, danach der Aufbau der internen Systemelemente und der Sensorik und zuletzt soll die Inbetriebnahme und vereinfachte Nutzung des Roboters dokumentiert werden.

3.1 Aufbau

Im Folgenden soll die interne Architektur des Go1 im Detail dargestellt werden. Hierfür werden einige Perspektiven des Roboters gezeigt, um die nach Einsatzzweck klassifizierten Bauteilgruppen zu erläutern und darzustellen.

3.1.1 Überblick

Die zoomorphe Form des Go1 ist - wie bereits mehrfach angedeutet - an die eines Hundes angelehnt. So ergeben sich die Bezeichnungen der äußerlich erkennbaren Bauteile von selbst. Abbildung 1 zeigt die äußerlichen Merkmale im Überblick.

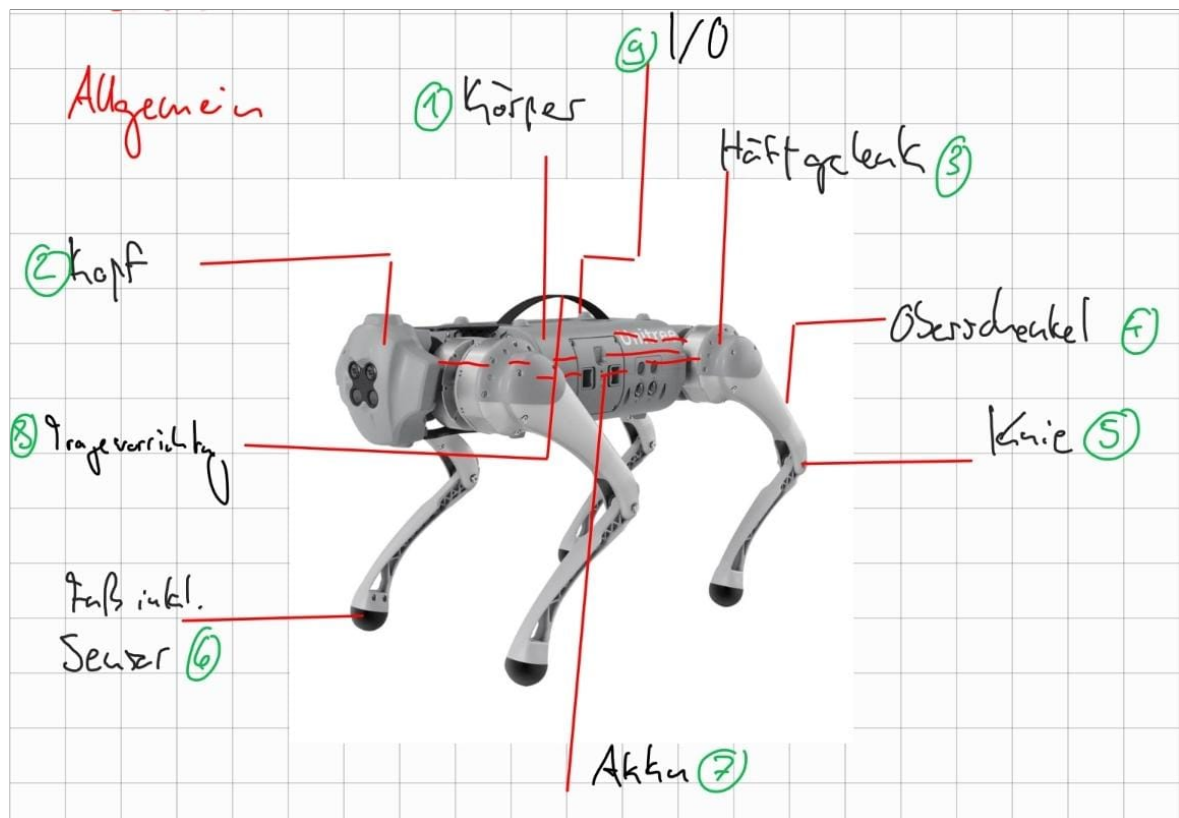


Abbildung 1: Überblick über den Go1

Die Grundlage des Roboters bildet der Körper - auf Abbildung 1 mit ① gekennzeichnet. In diesem sind ie meisten Komponenten des Go1 verbaut, unter Anderen die folgenden:

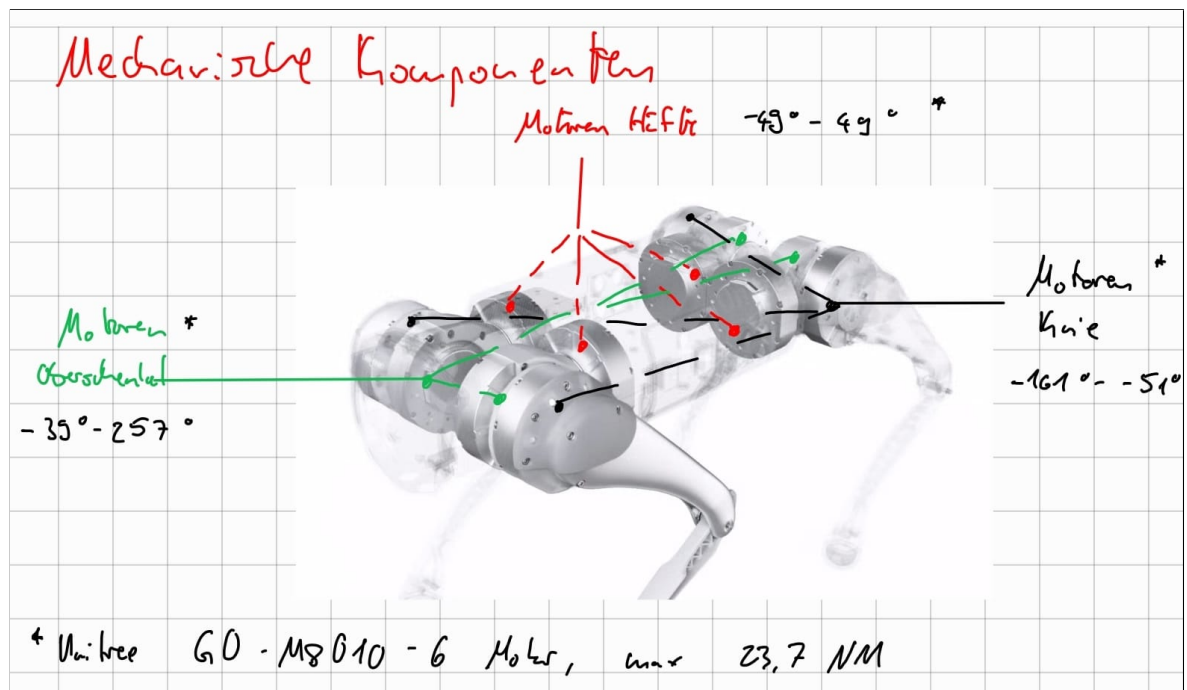
- Interne Hardwarekomponenten
- Intelligenter Akku
- Teile der Sensorik und Kameras
- Hüftgelenke und Motoren der Beine

Eine genauere Beschreibung der Einzelteile findet sich in den folgenden Unterkapiteln. An der Vorderseite des Körpers ist der Kopf ② des Roboters verbaut. In diesem sind beispielsweise ein *Nvidia Jetson Nano*, eine Stereo-Kamera und Stereo Ultraschall Sensoren und weitere Bauteile wie Lautsprecher und Mikrofone verbaut. An den vier äußeren Ecken des Körpers sind die Beine des Roboters verbaut. Innerhalb des Körpers sind die Motoren zur Steuerung der Hüftgelenke ③ integriert. Außerhalb der Hüftgelenke an der Oberseite der vier Oberschenkel ④ sind vier weitere Motoren zur vertikalen Steuerung der Beine verbaut. Parallel zu diesen Motoren sind im äußeren Teil des oberen Oberschenkels identische Motoren zur Steuerung der Knie ⑤ integriert, die die Gelenke jeweils durch steife Achsen und Seilzüge anwinkeln können. An den Enden der Beine sind jeweils Füße ⑥ verbaut, in denen Drucksensoren integriert sind.

Neben den äußerlich auffälligen Merkmalen ist auf der linken Seite des Körpers noch ein intelligenter Akku ⑦ verbaut. Auf der Oberseite des Körpers sind unterhalb der Tragevorrichtung ⑧ noch Schnittstellen ⑨ zur physischen Verbindung auf die integrierten Hardwarekomponenten verbaut.

3.1.2 Mechanische Komponenten

Der Anteil der in Abbildung 2 gezeigten mechanischen Elemente des Go1 hält sich in Grenzen. So sind am Körper selbst lediglich vier bewegliche Teile angebaut - die vier Servomotoren der Hüftgelenke ①. An den Hüftgelenken befestigt sind die einzigen weiteren beweglichen Bauteile des Roboters, die pro Bein jeweils zwei weiteren Motoren für die Neigung der Beine ② und der Kniegelenke ③. Zum Strecken des Kniegelenks wird eine am äußeren Motor



Validieren
ob
starre
und
Seilzug
Verbin-
dung
genutzt
werden

Abbildung 2: Mechanische Komponenten des Go1

angebrachter Seilzug ④ verwendet, zum Anwinkeln des unteren Beines wird im Gegenzug eine starre Verbindung ⑤ an der Vorderseite des Kniegelenks genutzt.

Eigenschaften der Servomotoren

Die Servomotoren am Hüftgelenk - Abbildung 2, Bauteil ①, die Motoren an den Beininnenseiten ② und die Motoren an den Beinaußenseiten ③ sind des

gleichen Models - *Unitree Robotics GO-M8010-6 Motor*⁵. Die Servomotoren haben ein maximales Drehmoment von 23.7NM (Newton/Meter) und können in 3 verschiedene Konfigurationen eingeteilt werden:

Sicher
Servo?

1. Hüftmotoren

Bewegungsradius von -49° bis 49°

2. Oberschenkelmotoren

Bewegungsradius von -39° bis 257°

3. Kniemotoren

Bewegungsradius von -161° bis -51°

Die Motoren sind ebenfalls mit Sensorik bestückt, welche den aktuellen Zustand des Bauteils erkennen und an die MCU (Main Control Unit) schicken können. Diese Funktionalität wird im Kapitel 3.1.3 näher beschrieben.

3.1.3 Hardware und Sensorik

Als wichtige Bausteine zur intelligenten Nutzung des Go1 sind an vielen Stellen im Roboter einige Sensoren oder intelligente Hardware verbaut. Neben der dedizierten Sensorik zur Erkennung des Umfeldes ist ebenfalls einfachere Sensorik in einigen Bauteilen wie den mechanischen Bauteilen des Laufapparats verbaut. Abbildung 3 zeigt die hierfür verbauten Sensoren und intelligenten Hardwarebausteine.

Ähnlich der mechanischen Eigenschaften der zwölf Servomotoren des Typs *GO-M8010-6* - zwei pro Bein des Roboters ① und je ein Motor im Körper des Roboters ② - sind die sensorischen Funktionen dieser identisch. In Abbildung 6 in Kapitel 3.3.4 ist erkennbar, dass die zwölf Motoren des Go1 über eine RS-485 Schnittstelle mit der MCU verbunden sind. Diese wertet die In-

⁵Unitree Robotics. *GO-M8010-6 Motor* - Unitree Robotics. URL: <https://shop.unitree.com/products/go1-motor> (besucht am 07. 07. 2023).

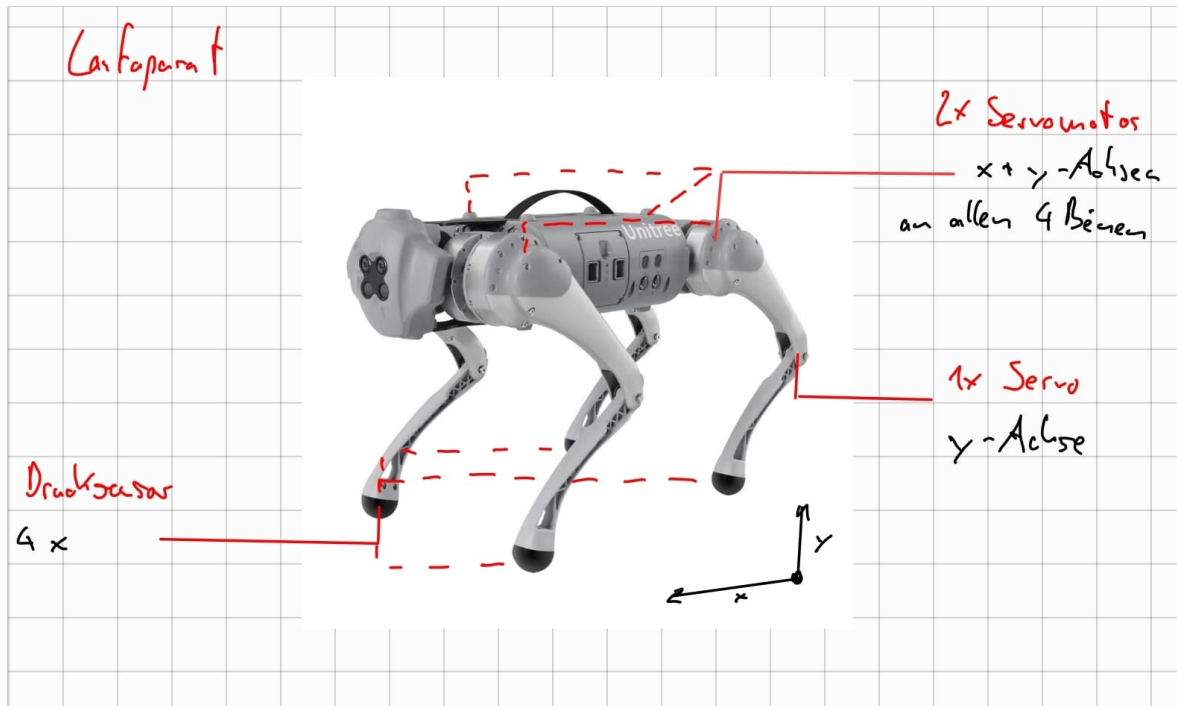


Abbildung 3: Sensorik und Daten des Laufapparats

formationen aus und steuert die einzelnen Motoren über dieselbe Schnittstelle an.

3.2 Inbetriebnahme

3.3 Hardware Architektur

3.3.1 Überblick

3.3.2 Kernelemente

3.3.3 Netzwerk

Aufgrund der vielen Komponenten, Funktionen und den möglichen Erweiterungen des Go1 ist eine robuste interne Kommunikation nötig. Die interne Kommunikationsstruktur des Roboters baut größtenteils auf Netzwerkstandards wie *Ethernet* und *Wi-Fi* auf, setzt besonders in der Konnektivität mit externen Komponenten jedoch zusätzlich auf weitere Standards wie *Bluetooth* und *WWAN* (*Wireless Wide Area Network*).

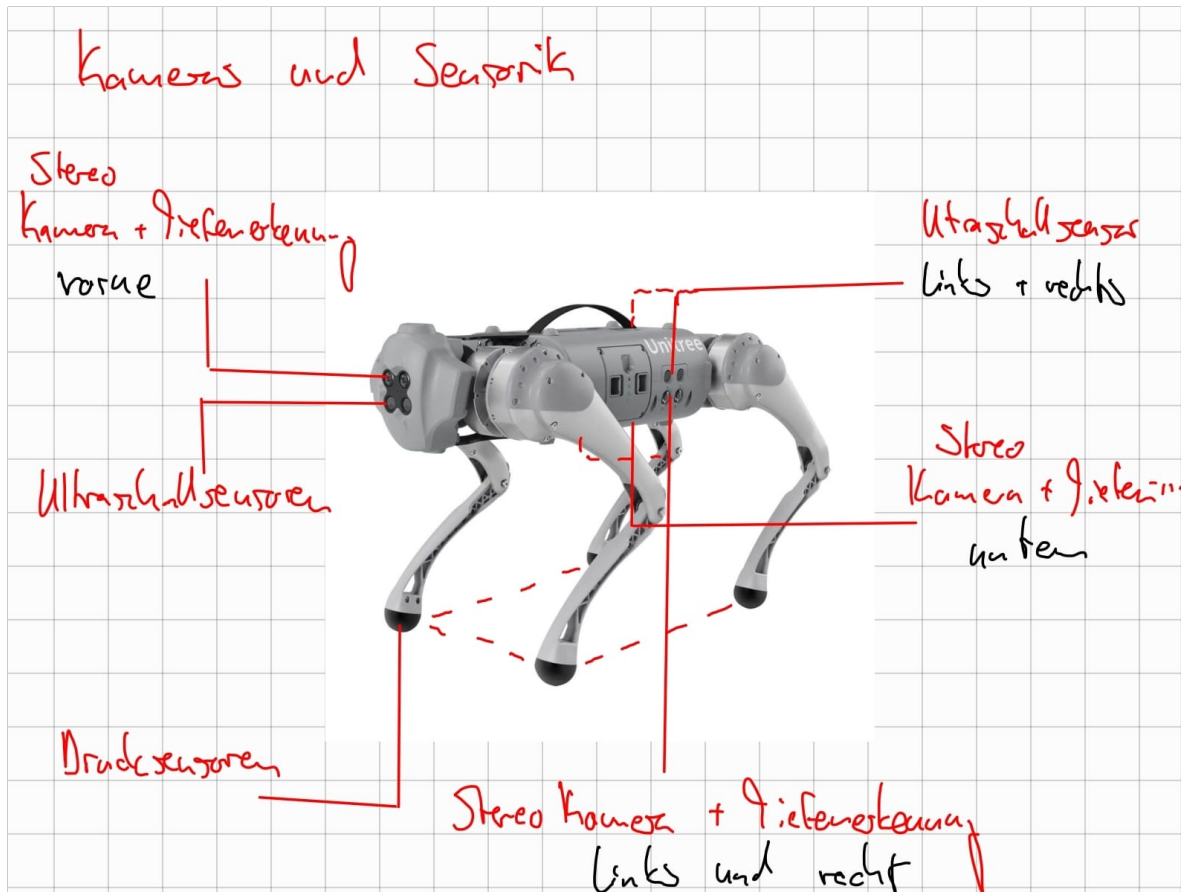


Abbildung 4: Darstellung der verbauten Kamera und Sensorik

Das folgende Kapitel erläutert die vorhandene Kommunikation der internen und externen Komponenten des Go1 und analysiert diese auf ihre Stärken und Schwächen. Zudem soll die Methodik der Analyse des Netzwerks und mögliche Problemfeststellungen und -behebungen festgehalten werden.

3.3.4 Überblick

Abbildung 6 gilt als Referenz für die folgenden Ausführungen. Zentrale Einheit der Kommunikation sind der verbaute Ethernet Switch und der intern verbaute Raspberry Pi. Wie auf Abbildung 6 zu erkennen ist, sind alle fünf manipulierbaren Platinen - der Raspberry Pi, die MCU, die beiden Nvidia Jetson Nanos mit 4GB RAM (Random Access Memory) und der Nano im Kopf des Hundes - per *Ethernet* mit dem Switch verbunden. Auch der extern

was für
switch

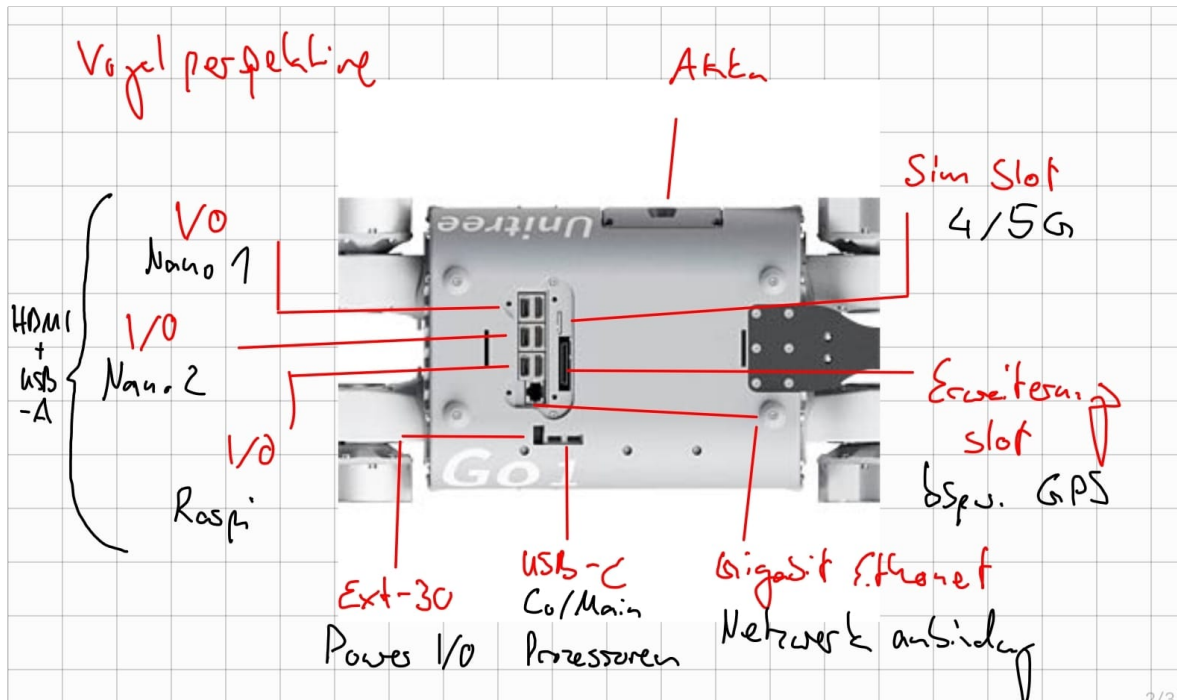


Abbildung 5: Vogelperspektive mit Hardware

zugängliche Ethernet-Port auf dem Rücken des Roboters ist mit dem Switch verbunden.

Alle geschwitchten Komponenten des Netzwerks sind im 192.168.123.0/24-Netzwerk registriert. Dabei ist die Verteilung der IP (Internetprotocoll)-Adressen folgendermaßen vorkonfiguriert:

- **MCU:** 192.168.123.10
- **Raspberry Pi:** 192.168.123.10
- **Nvidia Jetson Nanos:**
 1. Kopf: 192.168.123.13
 2. Seiten: 192.168.123.14
 3. Unterseite: 192.168.123.15

Dem Endgerät, das am externen Ethernet-Port an der Oberseite des Roboters angesteckt werden kann, muss eine statische IP-Adresse im Bereich

Überblick
Quelle
aus An-
leitung

was ist
gate-
way?
nötig?

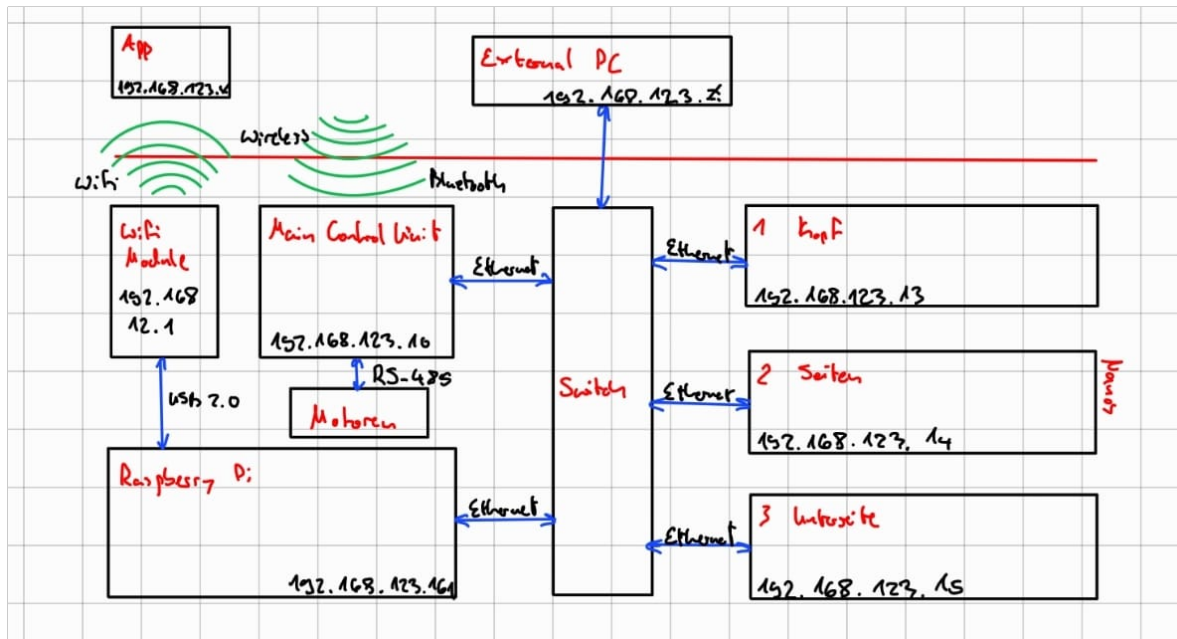


Abbildung 6: Überblick über Netzwerkkonfiguration

192.168.123.0/24 vergeben werden, die nicht bereits von einem der oben genannten Geräten verwendet wird.

Der Raspberry Pi hat zusätzlich zu seiner physischen Verbindung zum Switch und der 192.168.123.161-IP-Adresse noch ein WWAN Modul verbaut, mit welchem er das Netz 192.168.12.0/24 publiziert. Dieses Netz wird ab Werk für die Verbindung der App mit dem System benötigt. Des Weiteren kann dieses Netz genutzt werden, um eine kabellose Verbindung mit dem Gesamtsystem des Roboters herzustellen. Hierzu mehr in Kapitel 3.3.5.

3.3.5 Spezialisierte Hardware

Raspberry Pi

3.4 Limitierungen

3.4.1 Rechenleistung

3.4.2 Physische Limitierungen

MCU
und
Blue-
tooth?
Wie?

Welche
Art
Netz-
werk,
swit-
ched,
routed,
hub?

4 Analyse des Roboters

Dieses und die folgenden Kapitel beschäftigen sich lediglich mit der Infrastruktur rund um den Roboter und der Hardware und den Funktionen, die bereits im Roboter verbaut sind oder ergänzt werden können. Die Funktionen rund um ML (Machine Learning), erweiterte Robotik, LIDAR werden nicht behandelt. Dieses Kapitel beschäftigt sich mit dem Ansatz der Analyse des Roboters. Es wird gezeigt, wie die bestehenden Funktionen getestet und genutzt werden können, wie erkannt wird, welche Funktionen bereits aktiviert sind und welche Teile der Soft- oder Hardware nicht aktiviert sind. Zum Abschluss werden die bereits vorhanden Funktionen in dem Umfang, in dem sie ab Werk geliefert wurden, gezeigt und erklärt. Einige der Funktionen werden im späteren Verlauf der Arbeit auch erweitert oder verändert. Die Dokumentation hierzu ist in Kapitel 5 zu finden. Betroffene Funktionen werden hier im Kapitel explizit hervorgehoben.

abk

4.1 Vorgehensweise

4.2 Funktionen

4.2.1 Fernsteuerung

4.2.2 Lokales Netzwerk

4.2.3 Monitoring

4.2.4 Audio Interfaces

4.2.5 Video Streaming

4.2.6 Sensorik

4.2.7 Batterie Management

5 Funktionserweiterungen und Integration

5.1 Vorbereitungen

5.1.1 Externer Server

5.1.2 Protokolle

5.2 Resilienz

5.2.1 BMS

5.3 Konnektivität

5.3.1 Wifi

5.3.2 GSM

5.3.3 Bluetooth

5.3.4 Resilienz

5.4 Funktionsauslagerung

5.4.1 Auslagerung Rechenleistung

5.4.2 Fernsteuerung

5.4.3 Synchronisation

5.4.4 RTSP Server

6 Fazit

6.1 Rückblick

6.2 Einschätzung

6.3 Potential

6.4 Nächste Schritte

6.4.1 Software Upgrades

Anhang A Listings

Listing 1: buffer-overflow.c: C Programm Buffer Overflow

```
#include <stdio.h>

int main(){
    char buff[2];

    for(int i = 0; i < 5; ++i)
        buff[i] = 'a';

    for(size_t i = 0; i < 1000000; ++i)
        printf("%c\n", buff[i]);
}
```

Literatur

- [1] Sophie Fischer. *Robotics – Market data analysis & forecasts*. Statista Technology Market Outlook. Statista, Aug. 2022. URL: <https://de.statista.com/statistik/studie/id/116785/dokument/robotics-report/> (besucht am 04.07.2023).
- [2] Dudenredaktion (o. J.) „Roboter“ *auf Duden online*. 2023. URL: <https://www.duden.de/node/122491/revision/1296035> (besucht am 03.07.2023).
- [3] Helmut Maier. *Grundlagen der Robotik*. VDE Verlag GmbH, 2016.
- [4] Unitree Robotics. *GO-M8010-6 Motor - Unitree Robotics*. URL: <https://shop.unitree.com/products/go1-motor> (besucht am 07.07.2023).