

Roboterbasierte Vegetationskontrolle (RoVeKo) im Gleisrandbereich als Glyphosat-Alternative (Nr. 1337000626)

Zwischenbericht Forschungsjahr 2023

Technik & Architektur

12. Dezember 2023



Einleitung

Dieser Zwischenbericht schliesst sich an den ersten Zwischenbericht 2022 an. Die Zielsetzungen des Projektes haben sich nicht geändert und sind bereits im ersten Zwischenbericht dokumentiert. In Kurzfassung:

Ziel ist die Entwicklung eines autonomen, bahntauglichen Roboters zur Vegetationskontrolle; dabei soll mittelfristig der Einsatz von Glyphosat oder anderen Herbiziden zur Bekämpfung von Vegetation im Gleisrandbereich vermieden werden.

Im vorliegenden Jahr konnte eine erste vollständige Systemintegration am Roboter S-Bot durchgeführt werden. Dies umfasst die elektrische Versorgung, das Mähwerk, Sensorik (GPS + Laserscanner), Funk (WLAN) und Kontrollstation. Der Prototyp wurde an einer Demonstration präsentiert und vorgeführt und die Fahreigenschaften konnten im Gleisrandbereich getestet werden. Dabei stand auch der Austausch mit Natur-Unterhaltungsfachleuten der Bahn im Vordergrund.

Der Zwischenbericht 2023 geht auf die verschiedenen Entwicklungsschritte und Aktivitäten ein und gibt den aktuellen Stand des vorliegenden Funktionsmusters wieder. Das Dokument hat keinen Anspruch auf eine vollständige Berichterstattung.

Inhaltsverzeichnis

1. Management Summary
2. Arbeitsschwerpunkte 2023 Übersicht
3. Arbeitsschwerpunkte und Forschungsergebnisse
 - 3.1 Navigation
 - 3.2 Pflanzenbekämpfung
 - 3.3 Fahrzeugplattform
 - 3.4 Hinderniserkennung
 - 3.5 Bedienapplikation
4. Markt- und Technologiemonitoring
5. Austausch SBB
6. Zusammenarbeit und Projekte anderer Bahnen
7. Rückblick 2023
8. Ausblick 2024-2025

1. Management Summary

Das Projektteam hat in diesem Jahr verschiedene Roboterfunktionen weiterentwickelt und ausführlich getestet, im Labor, bei Tests in unterschiedlichem Gelände im Freien sowie auf dem Güterbahnhof Basel. Der Roboter Prototyp wurde verschiedenen Natur-Unterhaltungsfachpersonen der SBB demonstriert.

Unter anderem wurde die Lokalisierung, die Konstruktion des Roboters und die Hinderniserkennung verbessert. Es sind neue Funktionen hinzugekommen wie das Berechnen und Abfahren von einfachen Mähmustern und Zugriff auf den Roboter über ein Web User Interface.

Neben der Weiterentwicklung des S-bots wurde auch dieses Jahr wieder die Marktevaluation weitergeführt. Dabei wurde abgeklärt, welche kommerziellen Produkte in welchen Bereichen eingesetzt werden können. Fahren und Mähen auf Bahnschotter wurde mit einem kommerziellen Produkt (oberen Mittelklasse) von Husqvarna getestet. Die Evaluation und Feldtests ergaben, dass dieser kommerziell erhältliche Roboter im Bahnumfeld nur sehr eingeschränkt verwendet werden kann. Eine Tauglichkeit für Bahnschotteruntergrund ist nicht gegeben.

Dahingegen konnten Fahreigenschaften (Geländetauglichkeit, Geschwindigkeit) und die Dimensionierung (Grösse, Gewicht, Akkubetrieb) des entwickelten Roboters S-Bot überzeugen.

Weiterentwicklungsbedarf besteht jedoch beim Mähwerk, der Navigation bei auftretender GPS-Abschattung sowie in der Bedienungsapplikation für die Inbetriebnahme, Steuerung und Wartung.

2. Arbeitsschwerpunkte 2023 Übersicht

Forschungsergebnisse 2023 Übersicht:

- GPS Integration abgeschlossen
 - NTRIP Service Integration abgeschlossen
 - Funktionstauglichkeit durch Feldtests erprobt
- Präzise Lokalisierung weiterentwickelt
 - Sensor Fusion Konfiguration überarbeitet
 - Validierung mit Simulation
 - Validierung im System
- Mähmuster entwickelt
 - Evaluation Algorithmen und Verfügbarkeit
 - Pfadgenerierung für einfache Mähmuster (global plan)
 - Autonomes Fahren unter Mähanforderungen (Fahrgeschwindigkeit, Trajektorien folgen (Regler, Kalman-Filter))
- Mäher Feldtests
 - Messer mechanisch verbessern (Schleifen, Härten)
 - Mähen auf unterschiedlichen Untergründen (Schotter, Kies, Gras)
 - Messerform überarbeitet
 - Tests: Unterschiedliche Schnitthöhen bei unterschiedlichen Pflanzenvorkommen

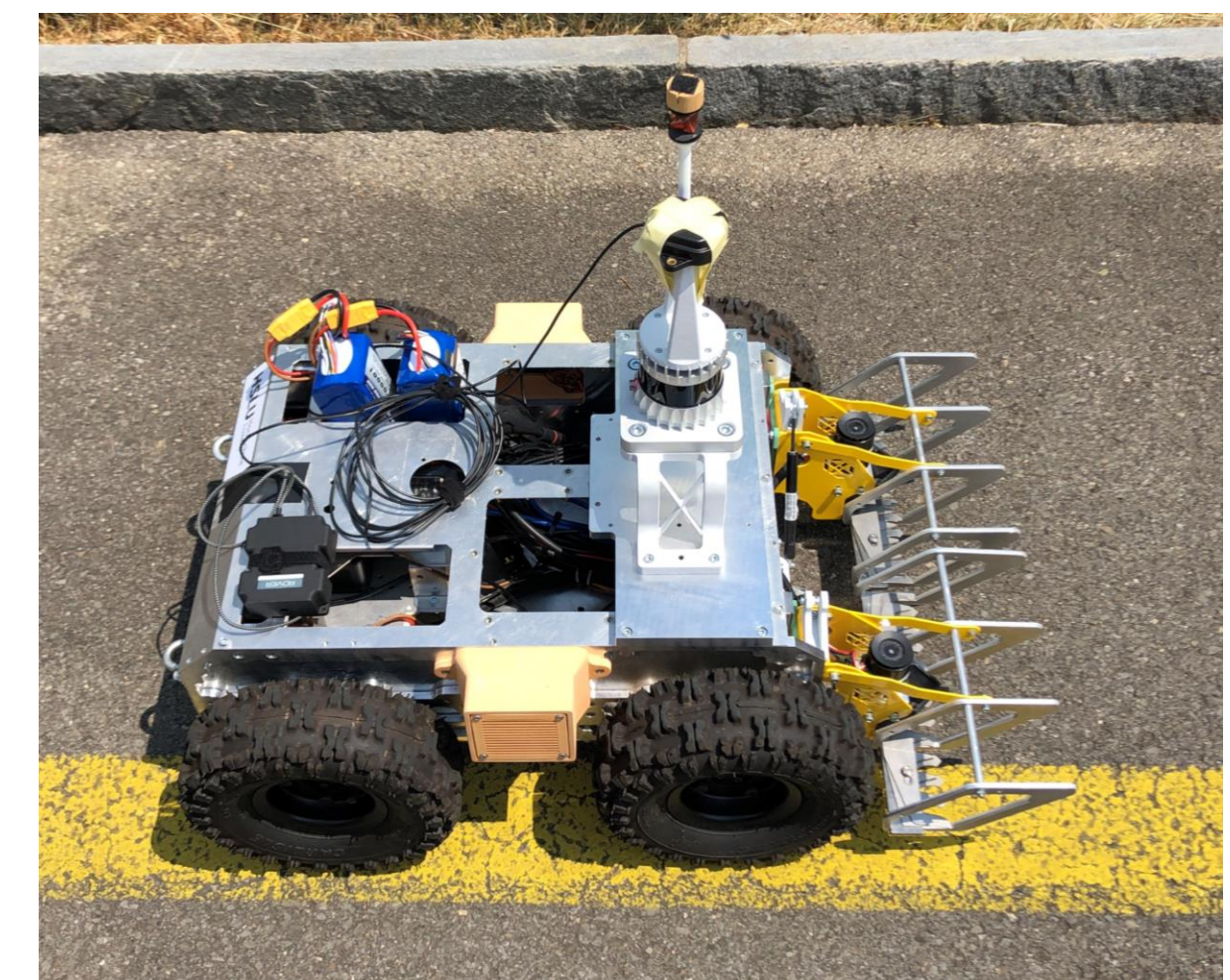
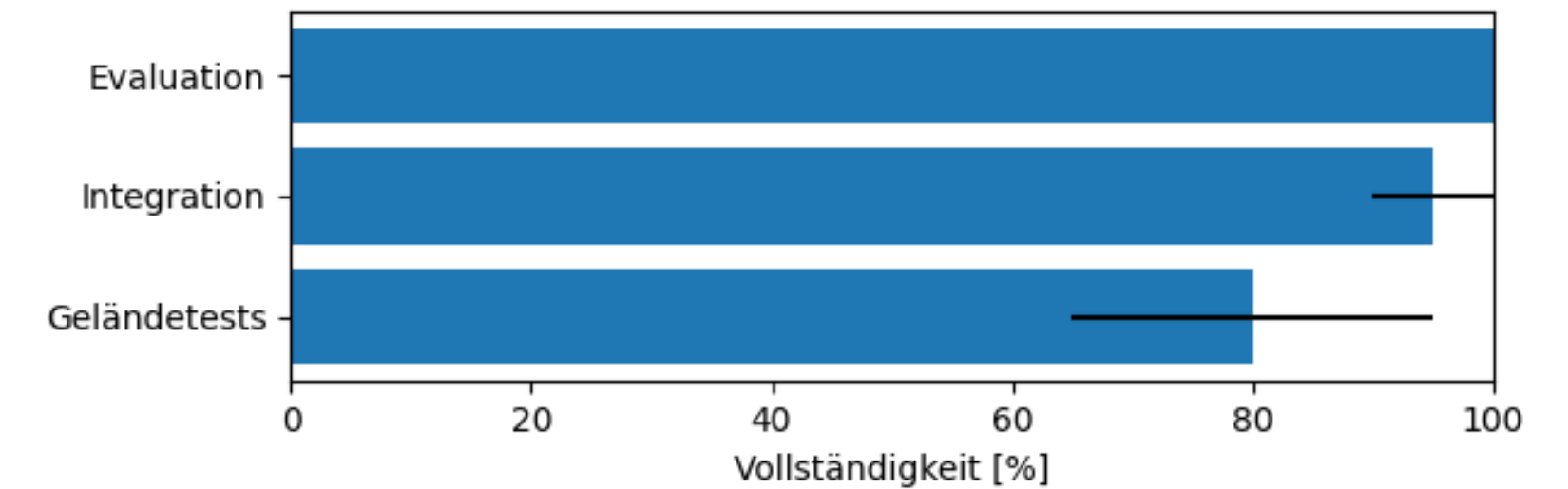
2. Arbeitsschwerpunkte 2023 Übersicht – Fortsetzung

- Fahrzeugmechanik weiter entwickelt
 - Radbefestigung überarbeitet
- Erprobung Hinderniserkennung mit Lidar Sensor
 - Hindernisse erkennen
 - Autonome Fahrten um (bewegliche) Hindernisse herum
- WebUI / Web User Interface (Bachelorarbeit)
- Aktualisierung der Marktevaluation
 - Evaluation und Interessensanfragen bestehender Marktplayer
 - Workshop mit Überblick zu kommerziellen Produkten
 - Spezifische Tests mit einem kommerziellen Produkt
- Demo-Event am Campus Horw
 - Informationen über das Projekt
 - Demonstration Funktionsmuster
 - Austausch mit Natur-Unterhaltungsfachpersonen der Bahn
- Begehung Güterbahnhof Basel
 - Testfahrten mit S-bot auf dem Güterbahnhof
 - Austausch mit Natur-Unterhaltungsfachpersonen der Bahn

3.1 Navigation: Verbesserung GPS

Verbesserung der Lokalisierung mit neuer GPS Generation

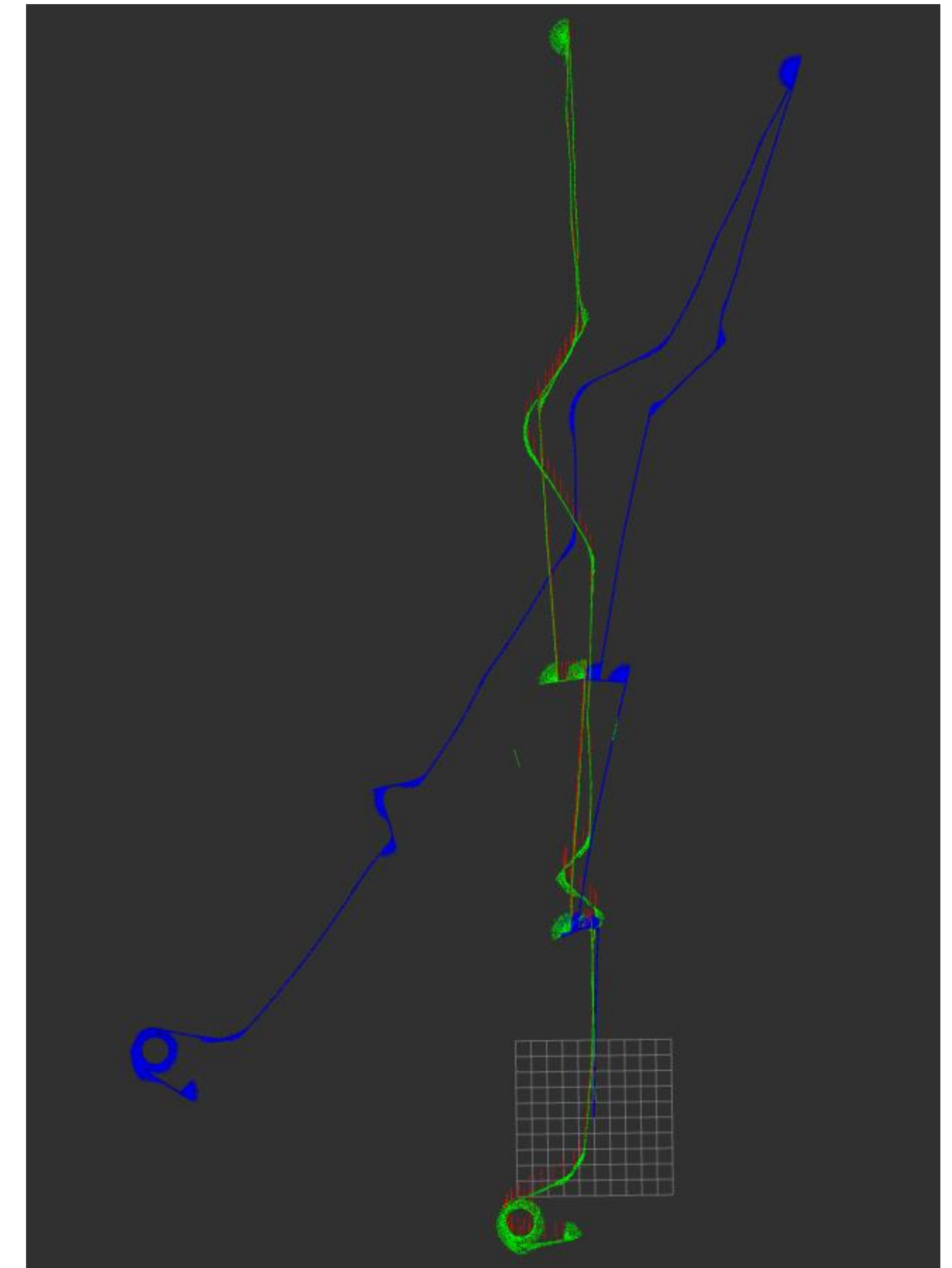
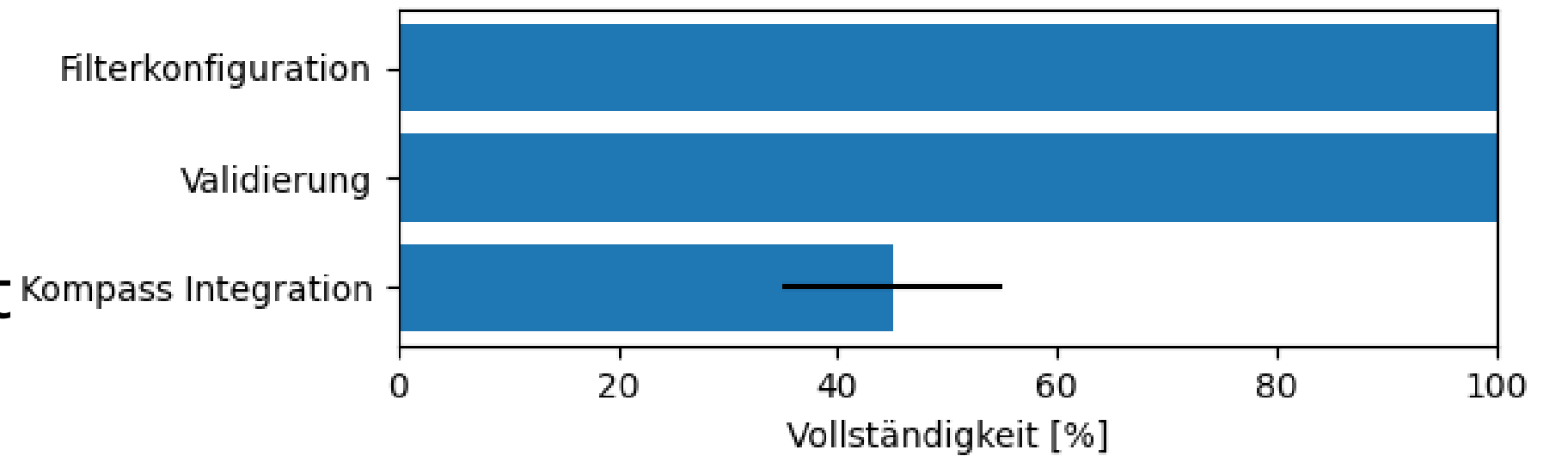
- Einbindung eines Webdienstes (anstelle einer Basisstation) für Korrektursignale umgesetzt
 - Reduktion der benötigten Infrastruktur
- Testfahrten und Vergleichsmessungen mit Leica Tachymeter mit unterschiedlicher Abschattung des GPS Empfängers
 - Fahrten auf dem offenen Parkplatz
 - Fahrten entlang von Gebäuden
 - Fahrten durch Gebäudeschluchten
- Auswertung der Signale in Roboteranwendungsfällen
- Fazit/Aktueller Stand:
Bei freien GPS-Empfangsbedingungen ist eine Navigation im cm-Bereich möglich und eine vorgegebene Fläche kann mit parallelen Streifen gemäht werden. Sobald jedoch eine GPS-Abschattung auftritt (Wände, Waggon, Gebäude etc.) kann der Navigationsfehler auf einige Meter ansteigen.



3.1 Navigation: Präzise Lokalisierung

- Sensor Fusion / extended Kalman Filter Konfiguration überarbeitet
 - Odometrie reduziert, da 4x4 Antrieb ungenaue Daten liefert
 - GPS Gewichtung angepasst, um ungewollte Sprünge in der Lokalisierung zu vermeiden
- Validierung mit Simulation
 - Simulation der fusionierten Lokalisierungslösung aus real aufgezeichneten Sensordaten
- Validierung im System
 - Mehrere reale Testfahrten zur Validierung der Filter Konfiguration
 - Korrektur der IMU Sensorposition
- Ersatz IMU
 - IMU / Kompass Kombination für Ausrichtungsinformation
 - «Einfahren» nicht mehr nötig

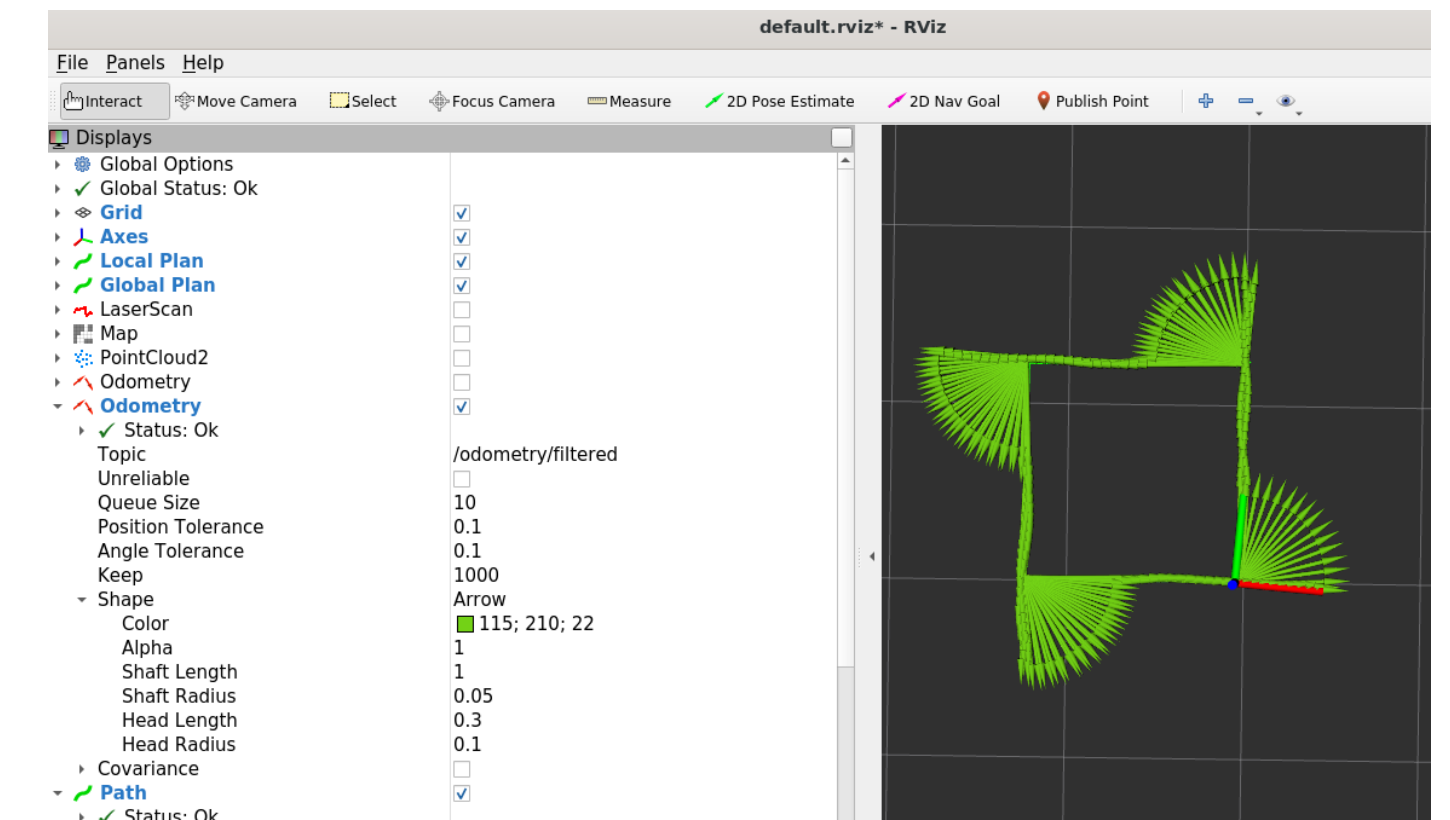
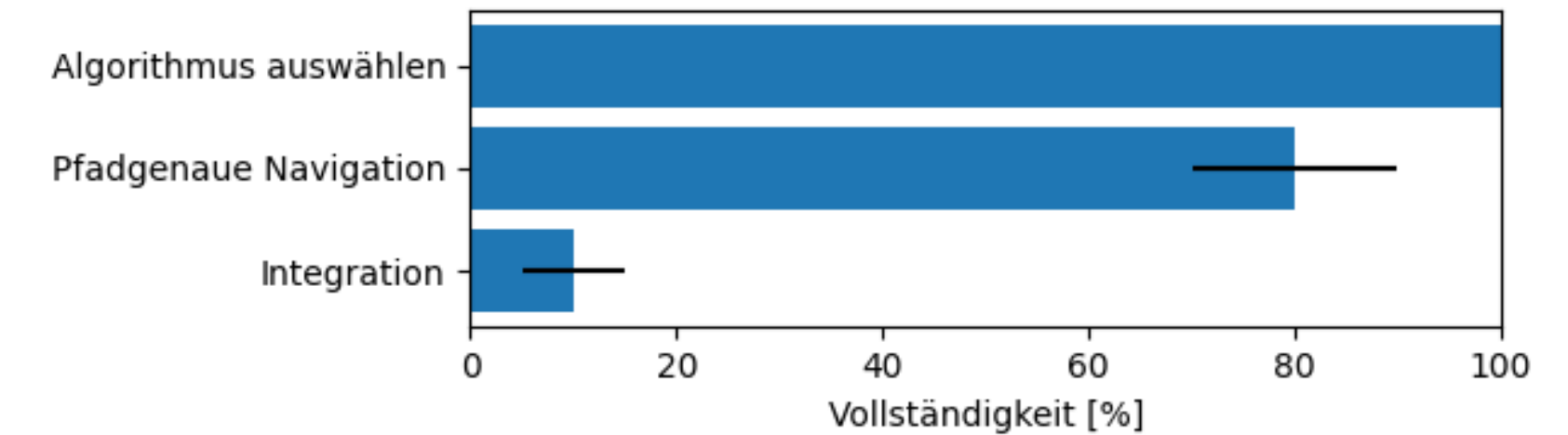
Fazit: Dank der Gewichtung der unterschiedlichen Sensordaten in einem Kalman Filter ist die relative Positionsgenauigkeit im cm-Bereich möglich. Die absolute Positionsgenauigkeit hängt jedoch aktuell von guten GPS Empfangsbedingungen ab.



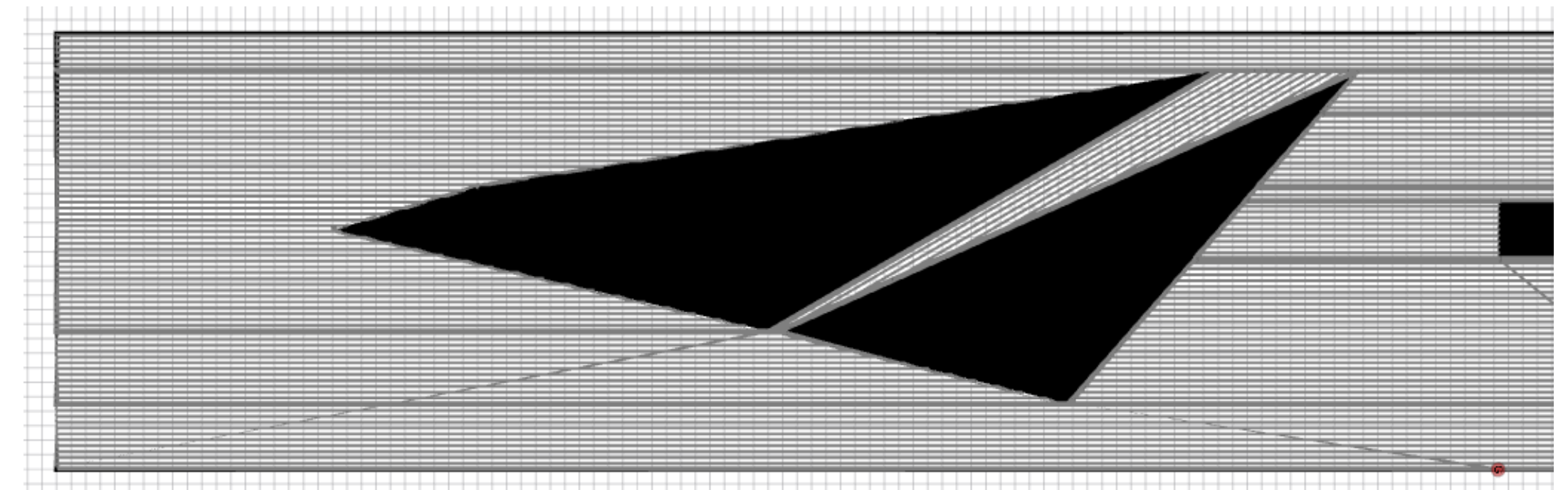
Filteroptimierung mit Hilfe von aufgezeichneten Daten und Simulation

3.2 Pflanzenbekämpfung: Mähmuster

- Aus Energieeffizienzgründen sollen definierte Flächen mit möglichst wenig Wendungen in möglichst langen Bahnen gemäht werden. Der S-bot soll bekannte Hindernisse in der Pfadplanung berücksichtigen.
 - Evaluation Algorithmen und Implementationen
 - Auswahl einer bestehenden Implementation: Polygon coverage planner
- Vorprogrammiertes Mähmuster für Navigationstest
 - Mähmuster für bestimmte Fläche berechnet und vorprogrammiert
 - Test mit S-bot / Navigation entlang des vorgegebenen Mähpfades
- Ausstehend:
 - Integration der ausgewählten Implementation in die Pfadgenerierung des S-bot
 - Alternative Pflanzenbekämpfungsmethoden



Beispielfahrt im Labor, Navigation ohne GPS-Unterstützung

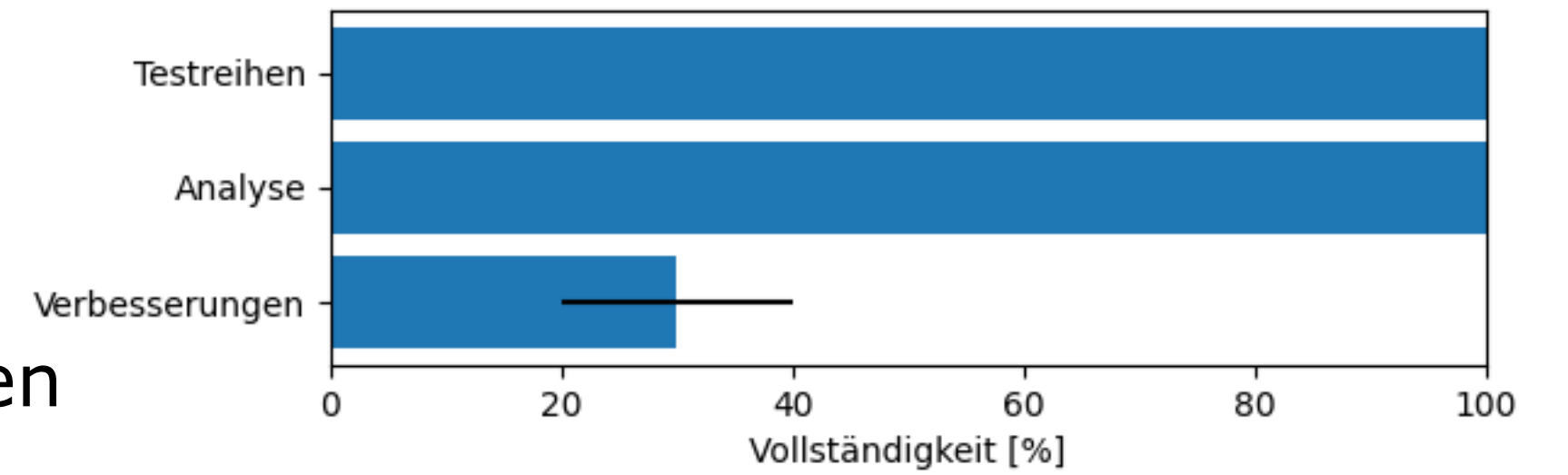


Beispiel Pfadgenerierung mit Kriterium Wendungen

3.2 Pflanzenbekämpfung: Mäher Feldtests

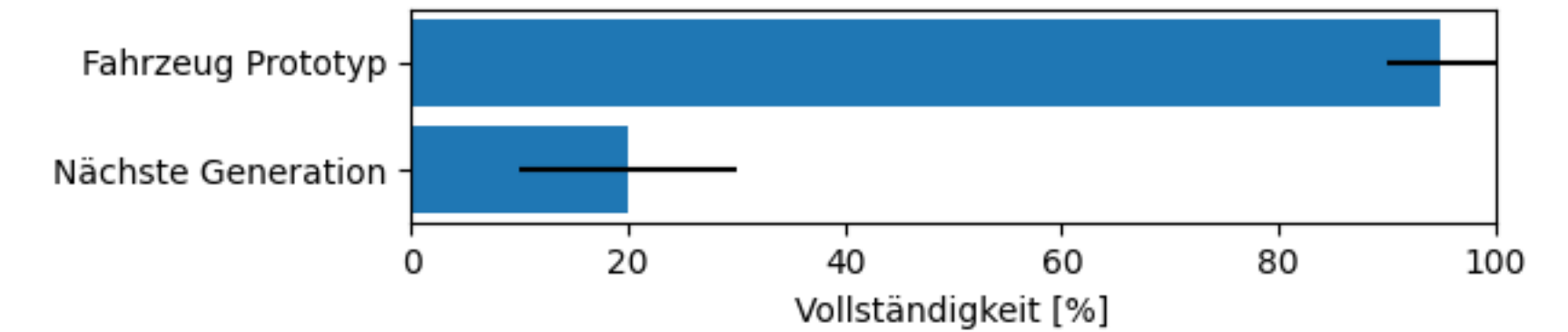
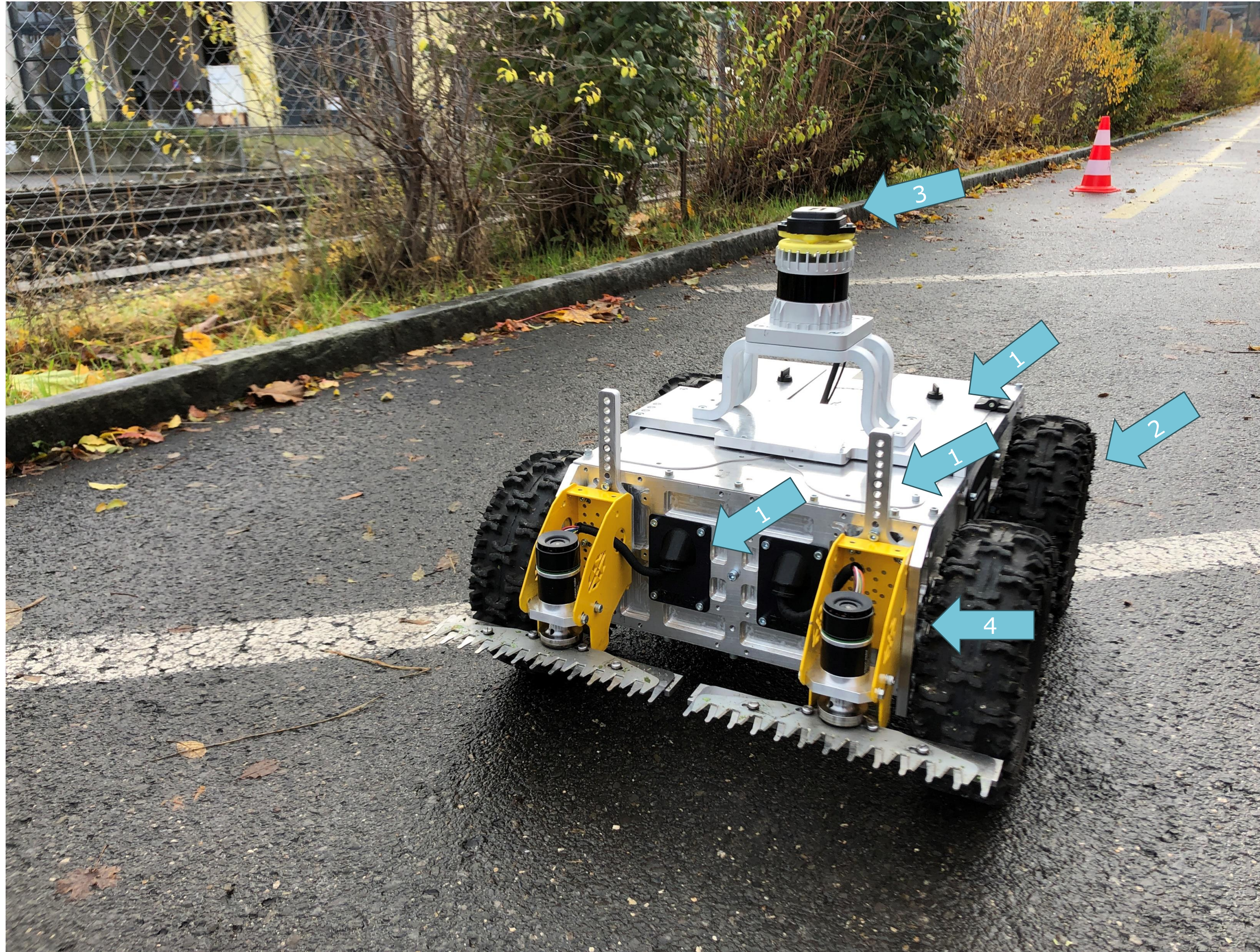
- Intensives Testen verschiedener Mäherkonfigurationen auf verschiedenen Untergründen
- Untergründe:
 - Bahnschotter (stillgelegte Gleise)
 - Kies (Parkplatz Horw)
 - Wiese
- Konfigurationen
 - Ohne und mit Härten und Schleifen der Messer
 - Ohne und mit Rechen
- Fazit/Aktueller Stand:

Der entwickelte Balkenmäher kann lückige/spärliche gehölzfreie Vegetation im Gleisrandbereich abmähen. Aktuell können verdorrte und stramme Gräser gut geschnitten werden. Allerdings besteht die Schwierigkeit, dass junge Gräser und weiche Pflanzen teilweise heruntergedrückt werden und vom Balkenmäher nicht erfasst werden. Die Schnitthöhe ist zudem relativ hoch. Andere mechanische Verfahren zur Vegetationskontrolle sind in Prüfung.



Vorher / Nachher Aufnahmen

3.3 Fahrzeugplattform: S-bot Plattform



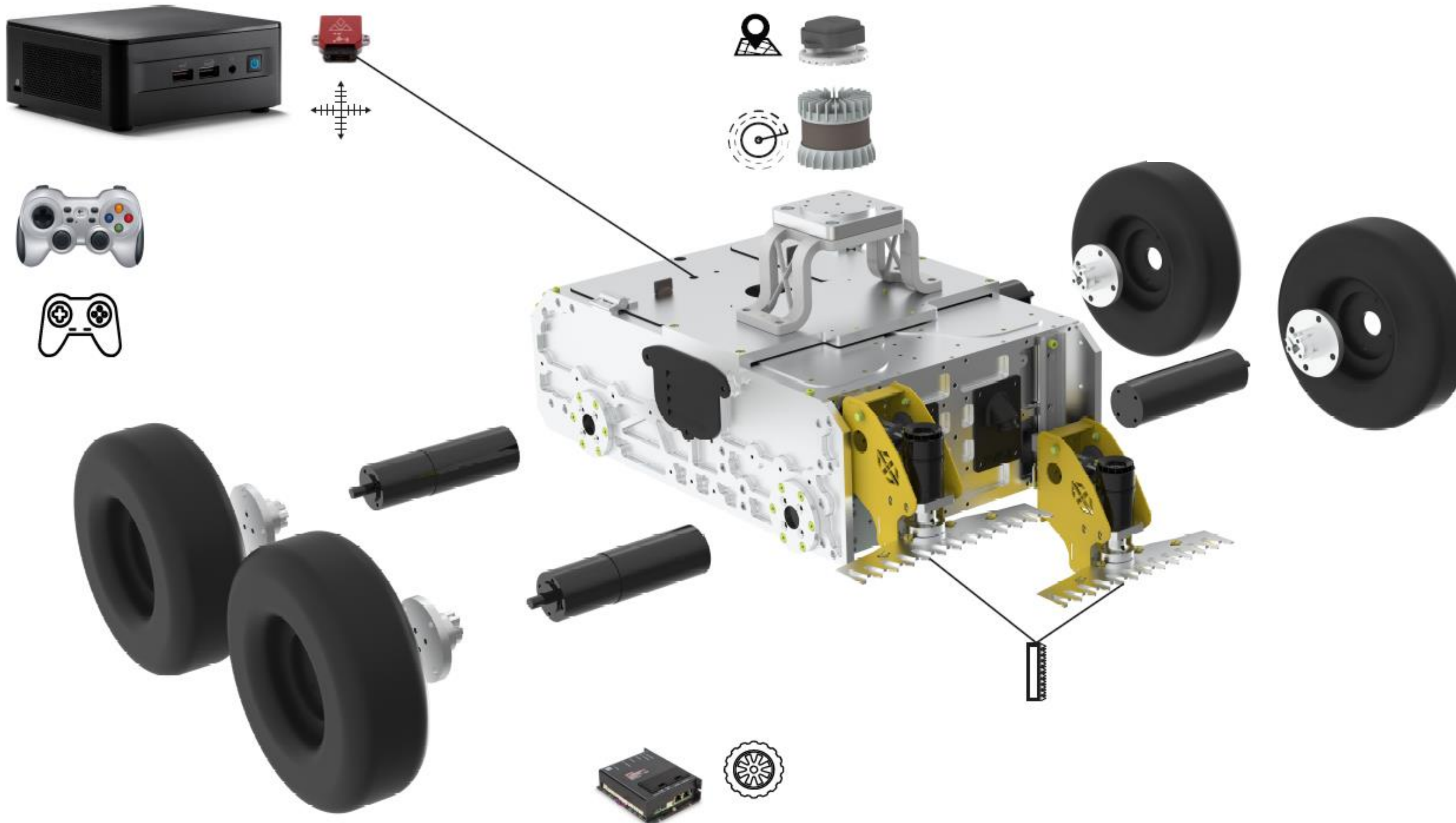
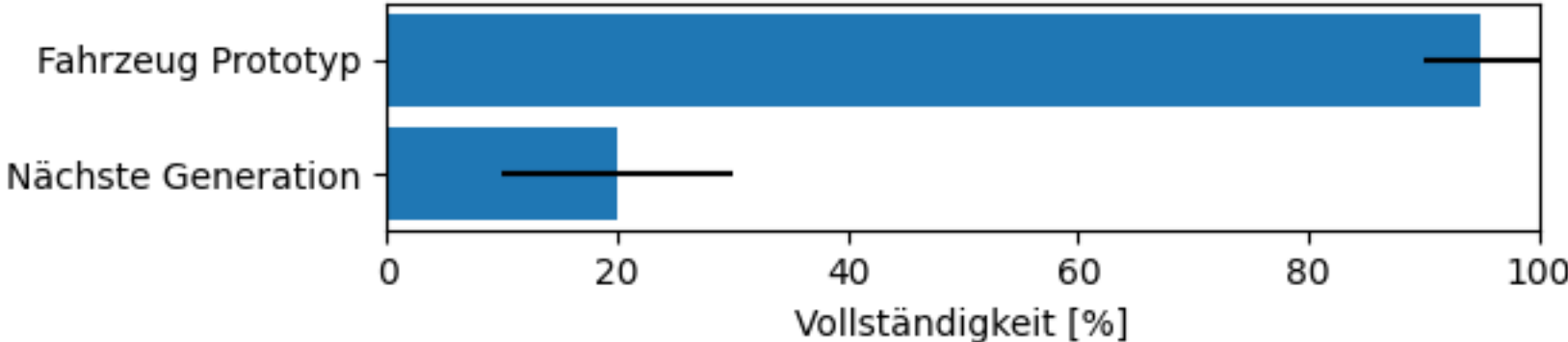
- Anpassungen am Fahrzeug:
 - Spritzwasserfestigkeit Fahrzeugchassis (1)
 - Radbefestigung überarbeitet (2, haltbarer, strapazierbarer)
 - GPS Antenne Platzierung verbessert (3, wenig Abschattung)
 - Höhenverstellbarer Mäher (4)

Fazit/Aktueller Stand:

Die Dimensionierung (Grösse & Gewicht) sowie die Fahreigenschaften (Bodenfreiheit, Geschwindigkeit, Kraft, ..) erfüllen die Anforderungen.

Jedoch ist die Gewichtsverteilung auf die 4 Räder noch stark unterschiedlich.

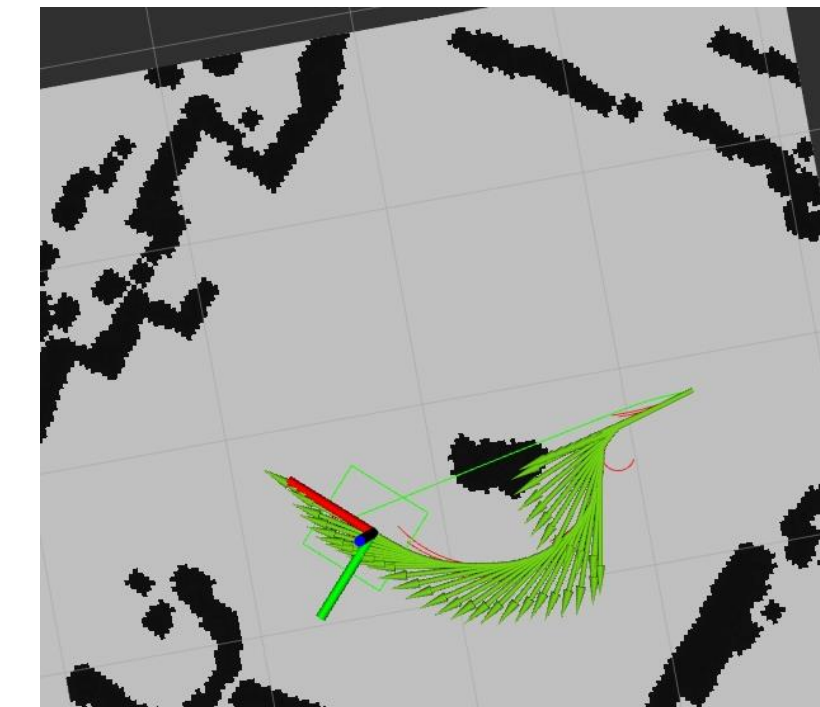
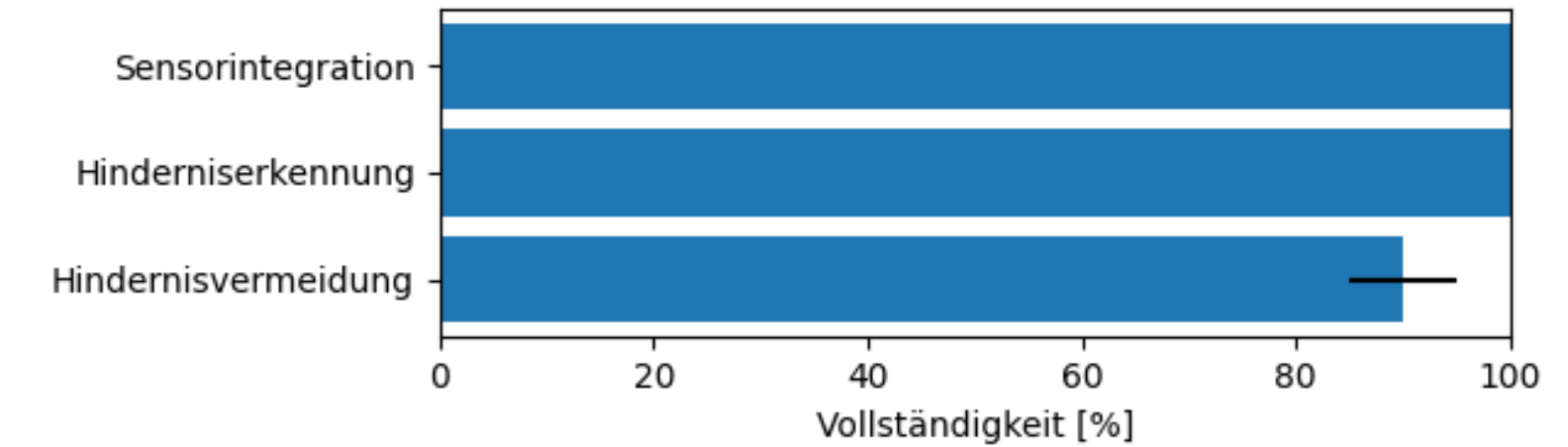
3.3 Fahrzeugplattform: Lösungsentwicklung: S-bot Plattform



3.4 Hinderniserkennung: LIDAR Sensor

- Hindernisse erkennen mit LIDAR Sensor
 - Tests mit verschiedenen Hindernisoberflächen
 - Tests mit unterschiedlichen Lichtverhältnissen, drinnen und draussen
- Fazit/Aktueller Stand:

Hindernisse können zuverlässig erkannt und umfahren werden. Die Umfahrung von Hindernissen benötigt jedoch viel Platz, abhängig vom Sicherheitsabstand. Die Pfadplanung im Gleisbereich mit engen Platzverhältnissen muss noch optimiert werden. Die Identifikation von Hindernissen (Art) ist noch nicht möglich. Ebenso das Erkennen von auf den Boden liegenden flachen Objekten wie Kabel, Handschuhe, etc.



Beispielfahrt im Labor: Hindernis wird erkannt und umfahren



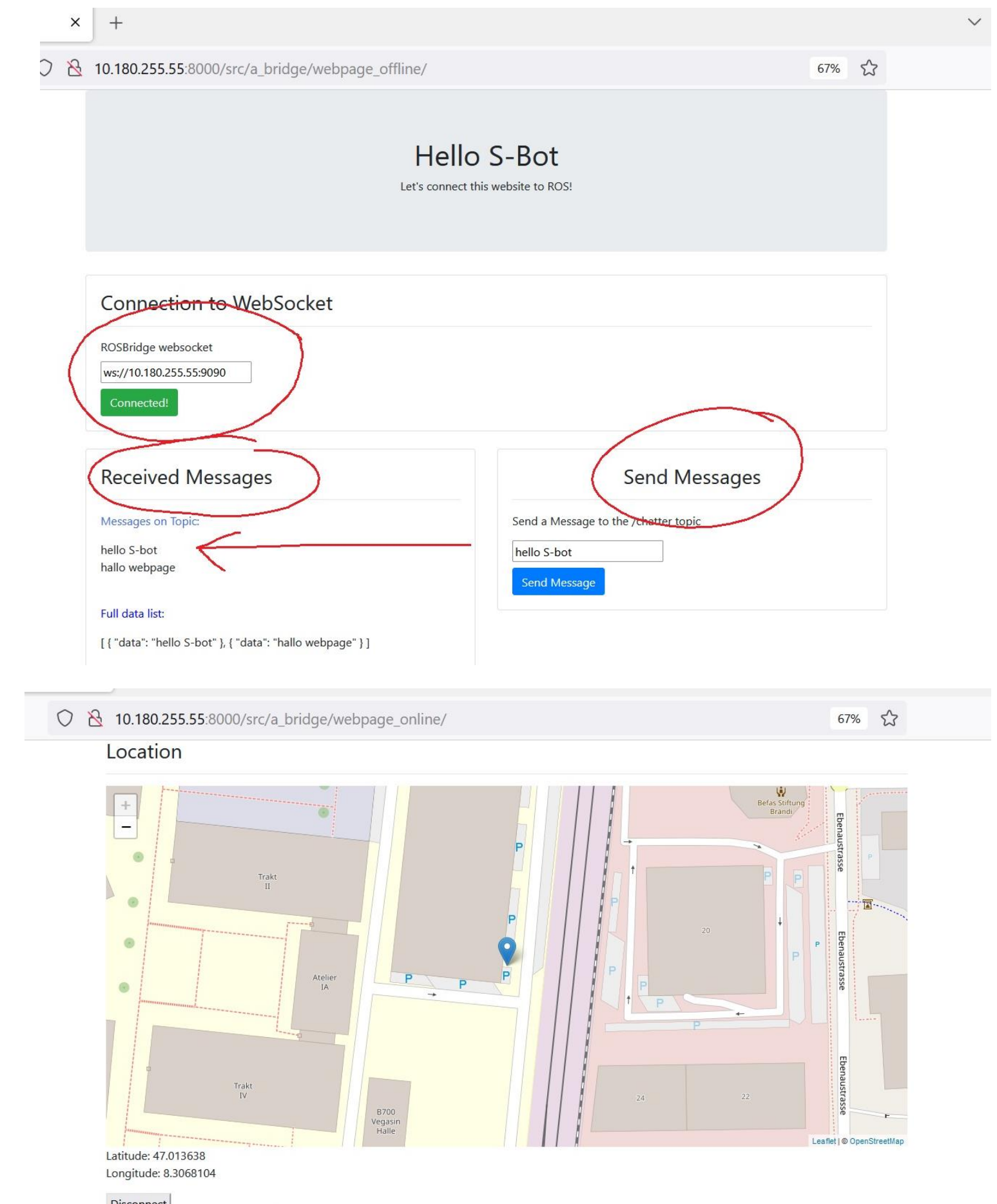
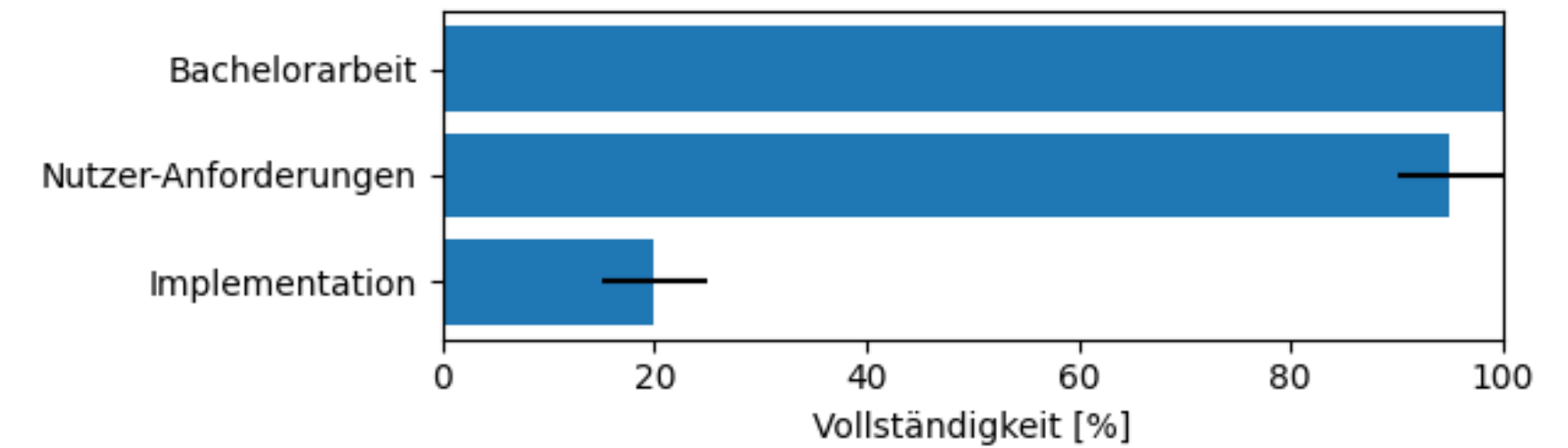
Outdoor Tests Hinderniserkennung bei Aussenlichtverhältnissen

3.5 Bedienapplikation: Web User Interface

- Anforderungserfassung, Bewertung, Analyse
- Web User Interface Skelett zur bidirektionalen Kommunikation mit dem Roboter
 - Schreib- und Lesezugriff
 - Zugriff auf Steuerungsrechner und Roboterapplikation (ROS, Sensordaten)
- Funktionen
 - Befehle absetzen, Statusmeldungen anzeigen
 - Roboterstandort auf einer Karte anzeigen
- Bachelorarbeit Digital Engineer, betreut durch RoVeKo Team

Fazit und Ausblick:

- Bedürfnisse und Anforderungen für die Bedienapplikation erkennen.
- Schnittstellen zu SBB Systemen identifizieren.



Screenshots WebUI

4. Markt- und Technologiemonitoring

In regelmässigen Abständen wird die Marktanalyse ergänzt bzw. bearbeitet. Dies umfasst insbesondere

- Kommerziell verfügbare Plattformen und/oder (alternative) Antriebskonzepte
- Neue Sensorik (Kamera, LIDAR, ...) und Kostenentwicklung
- Kommerzielle und/oder wissenschaftliche Software-Tools und Lizenzen
- SBB-spezifische Anforderungen (Sicherheitsmassnahmen)

Ziel des Markt- und Technologiemonitorings ist es, vielversprechende (Teil-)Produkte zu prüfen und so die Möglichkeiten des Marktes zu nutzen bzw. das Interesse kommerzieller Produkthanbieter für die Bahnanwendungen zu evaluieren.

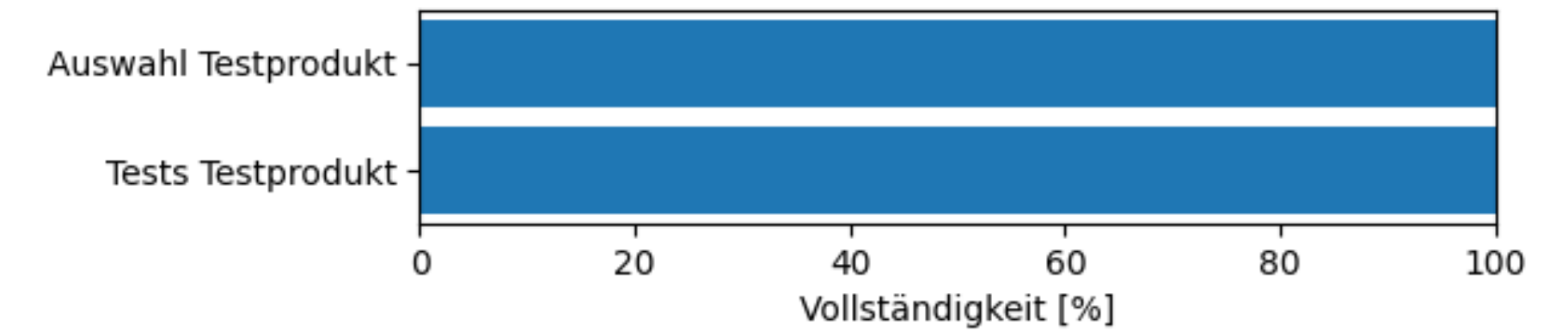
4. Markt- und Technologiemonitoring: Workshop

- Vorauswahl möglicherweise interessanter kommerzieller Mähroboter
- Evaluation bezüglich
 - Anwendungsfall mit Priorität: 400m Strecke, Streifenbreite 1-2m (z.B. Güterbahnhof)
 - Weitere Anwendungsfälle: grüne „Inseln“
- Fazit:
 - Interessanteste Produkte: Ecoflow, Worx, Yarbo
 - Interesse an Bahnanwendungen wurde von Yarbo abgelehnt.
 - Weitere Kontaktaufnahmen aktuell ausstehend.
 - Anregungen in den Bereichen
 - Lidar
 - Kamera Hinderniserkennung KI
 - Modularität Anbauten
 - UWB Sensorik
 - Mähwerk absenkbar



4. Markt- und Technologiemonitoring: Status Mähroboter

- Tests abgeschlossen:
 - Geländetauglichkeit durch Fahrten auf Bahnschotter-Äquivalent getestet
 - Navigation durch Fahrten auf Test-Streifen erprobt
 - Mähwerk-Eignung auf Bahnschotter-Äquivalent getestet
- Fazit:
 - Für das Bahnumfeld praktisch ungeeignet (Reichweite und Präzision der Navigation).
 - Geländetauglichkeit dieses Mittelklasse-Produktes ist **für Bahnschotter unzureichend**
 - Navigation nicht Mähfeldoptimiert (Streifen)
 - Minimale Schnitthöheneinstellung für Schotter = maximale Schnitthöheneinstellung des Produktes



5. Austausch SBB: Funktionsmuster Demonstration Campus Horw 08/23

- Neben den regelmäßigen Projektleitungsmeetings zwischen HSLU und SBB wurde im August ein „Tag der offenen Tür“ organisiert. Teilnehmende: Fachpersonen Vegetationskontrolle Bahn
- Inhalt:
 - Projektinformationen
 - Demonstration des Funktionsmusters S-bot
 - Mähmuster auf natürlichem Untergrund
 - Hinderniserkennung (statische und dynamische Hindernisse)
 - Ausstellung
 - Robotik- und Mäherprojekte an der HSLU
 - Aufbau Funktionsmuster S-Bot
- Ergebnisse:
 - Austausch/Validierung von Funktionen und Anforderungen
 - Rückmeldungen und Einschätzungen von Fachpersonen Vegetationskontrolle
 - Den Roboter für einen realen Einsatz (über-)prüfen



5. Austausch SBB: Begehung Güterbahnhof Basel

- Einladung der SBB zur Begehung des Güterbahnhofs Basel (11/23)
- Austausch mit Projektleitung und Natur-Unterhaltsverantwortlichen
- Tests mit dem S-bot auf dem Gelände des Güterbahnhofs
- Fazit/Ergebnisse:
 - Informationen über Abläufe mit GIS-basiertem Vegetationsmanagement-System der SBB
 - Erkenntnisse über Verhältnisse auf Güterbahnhöfen
 - Anschauungsbespiele möglicher kartographierter oder unerwarteter Hindernisse



6. Zusammenarbeit und Projekte anderer Bahnen

Im Jahr 2023 erfolgten mehrere online Meetings mit Vertretern der Deutschen Bahn (DB). Die ersten Meetings waren geprägt von Zurückhaltung betreffend Informationsaustausch, da seitens DB auch eine Consulting Firma an den Meetings teilnimmt.

Durch das mehrmalige Treffen konnten die (technischen) Vorbehalte zusehends abgebaut werden und Ende 2023 wurde über mögliche gemeinsame Initiativen diskutiert (Bewerbung EU Ausschreibungen, Teilnahme an Konferenzen, gegenseitiger persönlicher Besuch und Demonstration der Prototypen, etc.).

Die bisherigen Gespräche haben gezeigt, dass es sowohl Gemeinsamkeiten bei den Anforderungen aber auch grosse Unterschiede bei der Anwendung gibt (Länge des Streckennetzes, Einsatz im Gleisnahbereich mit/ohne Personal, Grösse und Gewicht des Roboters, etc.).

Wir streben mit unserer Lösung einen batteriebetriebenen, möglichst autonomen Roboter für den Gleisnahbereich an, wobei der erste Einsatz bei Güterbahnhöfen und Abstellgleisen vorgesehen ist.

Die DB hingegen hat aktuell einen benzinbetriebenen Prototyp entwickelt, der zukünftig entlang der offenen Strecke mit einem Operator in der Nähe eingesetzt werden soll.

7. Rückblick 2023

- Tests in unterschiedlichem Gelände mit kommerziell verfügbarem Rasenmäher-Produkt ✓
- Sensorik für Hindernis- / Gleiserkennung -> Hindernisse: ✓
- Autonome Navigation auf Kies und Schotter ✓
- Bearbeiten von Flächen (vs. Strecken) mit Mähmäandern ✓
- Demonstration der Forschungsergebnisse ✓

8. Ausblick 2024-2025

- Präzise Navigation bei GPS-Abschattung
- Erkennen von Hindernissen
- Hindernisumfahrung im engen Gleisrandbereich
- Mähen von weichen Gräsern und Blättern
- Prüfung und Verbesserung Roboterwerkzeug (z.B. Mählösungen, Schnittgut, ...). Konzeptstudien für andere Werkzeuge zur Vegetationskontrolle.
- Weitere Tests im Gleisumfeld. Nachweise Funktionstauglichkeit Gesamtsystem.
- Business Case (Use Case Definition, Einsatzkonzept inkl. Energieversorgung, Wirtschaftlichkeitsbeurteilung)

Danke!

Hochschule Luzern
Technik & Architektur
Institut für Maschinen- und Energietechnik IME

Christoph Eck
Dozent

T direkt +41 41 349 33 85
christoph.eck@hslu.ch