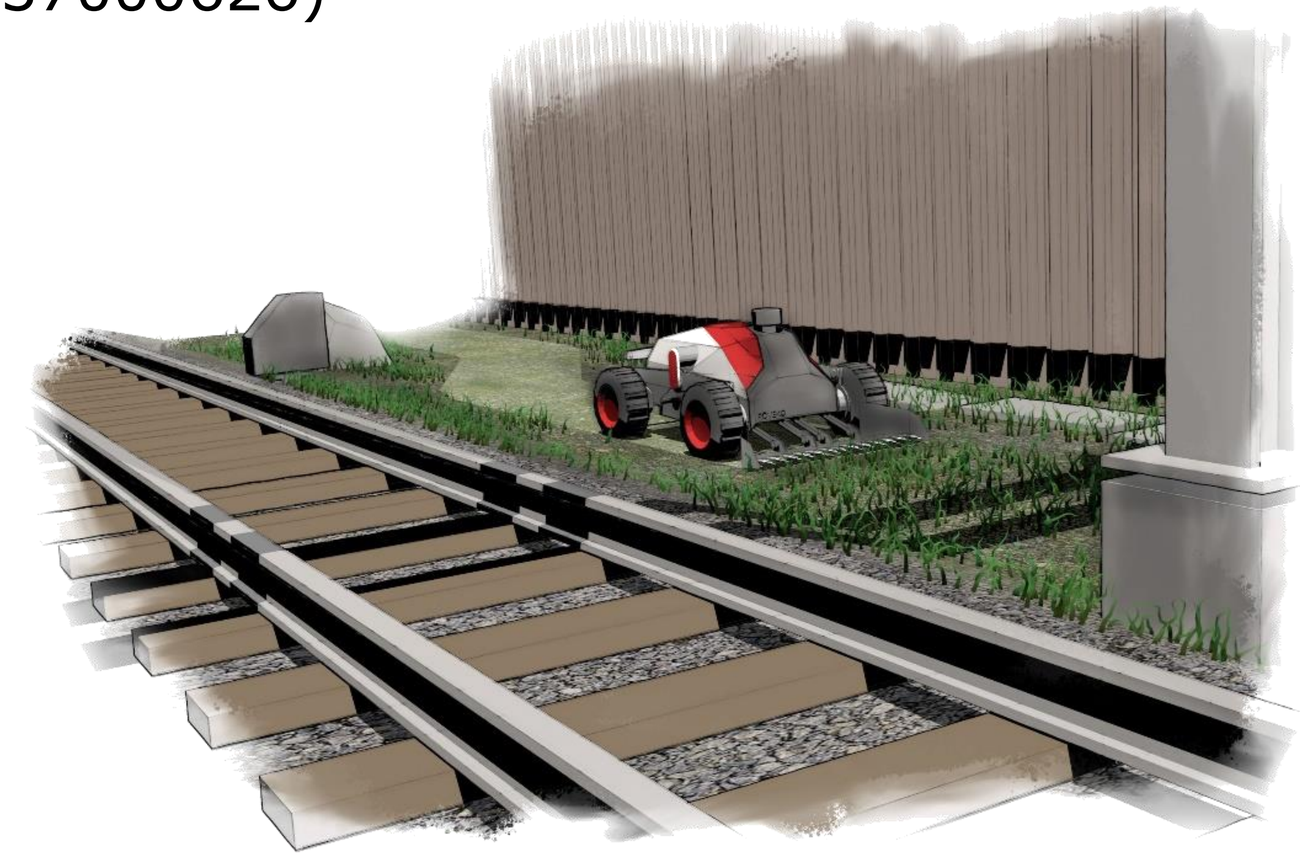
HSLU Hochschule Luzern

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

Zwischenbericht Forschungsjahr 2022



Technik & Architektur

9. März 2023

FH Zentralschweiz

Einleitung

Bewuchs auf und an Gleisanlagen muss kontrolliert und ggf. bekämpft werden um die Sicherheit, Verfügbarkeit und Langlebigkeit der Anlagen zu gewährleisten. Dazu wird das umstrittene Herbizid Glyphosat eingesetzt.

In der Landwirtschaft, Industrie, Logistik und vielen anderen Bereichen werden vollautonome Verfahren mit Robotern schon eingesetzt oder sind zum Teil Standard. Roboter haben den Vorteil, dass sie rund um die Uhr Arbeiten ohne Personalaufwand verrichten können. Für den Eisenbahnbereich gibt es allerdings derzeit keine marktfähigen Lösungen.

Das R&D Projekt „Roboterbasierte Vegetationskontrolle (RoVeKo) im Gleisrandbereich“ hat das Ziel, eine bahntaugliche Roboterlösung zur Vegetationskontrolle neben dem Gleis zu entwickeln.

Der hier vorliegende Zwischenbereich gibt Einblicke in die Aktivitäten und Ergebnisse aus den R&D Arbeiten an der HSLU. Das Dokument hat kein Anspruch auf eine vollständige Berichterstattung.

Inhaltsverzeichnis

1. Management Summary / Arbeitsschwerpunkte 2022
2. Use Case Analyse / Definition Einsatzkonzepte
3. Review Anforderungen (MVP)
4. Markt- und Technologiemonitoring
5. Lösungsentwicklung:
   i. Grundplattform
   ii. Lokalisierung
   iii. Design / Handhabung
6. Zusammenarbeit und Projekte anderer Bahnen
7. Ausblick 2023-2025

1. Management Summary / Arbeitsschwerpunkte 2022

In Zusammenarbeit mit der SBB wurden die Anforderungen an die Roboterbasierte Vegetationskontrolle in Abhängigkeit der Anwendungsfälle weiter präzisiert. Use Cases und Anforderungen wurden im Sinne eines «Minimum Viable Product» (MVP) festgehalten.

Folgende Use Cases stehen im Fokus des Projektes:

- Mähen von Gehwegen und definierten Randflächen in Gleisnähe
  - regelmässig oder unregelmässig
  - autonom
- Begleitetes Mähen (teilautonomer Mäher zur Unterstützung von Personal)
  - von Gehwegen und Randflächen in Gleisnähe
  - Evtl. entlang von Streckengleisen

Daneben wurde die Marktsituation (Geräte, Sensoren) bezüglich kommerziell verfügbarer Alternativen weiter evaluiert und vielversprechende Produkte getestet. Ausserdem verfolgt das Team ähnliche Projekte in den Nachbarländern und deren Ergebnisse.

1. Management Summary / Arbeitsschwerpunkte 2022

Forschungsergebnisse 2022 Übersicht:

- Marktevaluation
  - Kommerziell verfügbare Alternativen
  - Tests mit einem kommerziellen Produkt
- Evaluation Kamerasensorik
  - Visual SLAM als alternative, GPS-unabhängige Lokalisierung
  - Tests mit Kamerasensor Alphasense
- Verbesserung der Lokalisierung mit neuer GPS Generation
  - Tests mit einem Singleband Produkt
  - Vergleich mit einem Multiband Produkt
- Überarbeitung Chassis / Design
  - Verbesserung Handhabung des Roboters
  - Verbesserung Eindruck und Wirkung

2. Use Case Analyse / Definition Einsatzkonzepte

Zur Erhöhung der Erfolgswahrscheinlichkeit des F&E Vorhabens wurden die potenziellen Anwendungsfälle von Roboter gemeinsam mit der SBB präzisiert.

Die identifizierten Use Cases unterscheiden sich in Wirkung, Relevanz, Potential und technischem Anforderungsniveau (Umsetzbarkeit).

Im Sinne einer Priorisierung wurden und werden die Ressourcen im F&E Projekt auf erreichbare Anwendungsfälle fokussiert (Use Cases A1, A2, A4 und B2).

Übersicht Anforderungsniveaus (Merkmale).

Use Case	Vegetation	Terrain	Arbeitsleistung	Autonomie (Energie, Wartung)	Navigation	Sicherheit	Einfachheit Inbetriebnahme	Preissensitivität	Potenzial (Flächenanteil)
A1: Gehwege & definierte Randflächen: **Regelmässig autonom Mähen**	↓	↓	↓	↑	→	↑	→	↑	■
A2: Gehwege & definierte Randflächen: **Unregelmässig autonom Mähen**	↑	↓	↓	→	→	↑	→	→	■
A3: Gehwege & definierte Randflächen: **Unregelmässig autonom Eliminieren** von punktuellem Bewuchs	↑	↓	↓	→	→	↑	→	→	■
A4: Gehwege & definierte Randflächen: **Begleitetes Mähen**	↑	↓	↑	↓	→	→	↑	↓	■
B1: Streckengleise: **Autonomes Mähen** Randbereiche	↑	↑	→	↑	↑	↑	→	↑	■
B2: Streckengleise: **Begleitetes Mähen** Randbereiche	↑	↑	↑	↓	↑	→	↑	↓	■
C1: Böschungen: **Autonomes Mähen**	↑	↑	↑	→	→	↑	↑	→	■
C2: Böschungen: **Begleitetes Mähen**	↑	↑	↑	↓	→	→	↑	↓	■

9 / 9

9

3. Review Anforderungen

Die Anforderungen an die angestrebte wirtschaftliche Roboterlösung werden im Sinne eines «Minimum Viable Product» (MVP) festgehalten. Das Dokument wurde zusammen mit der SBB reviewt und die Anforderungen priorisiert.

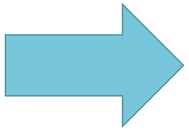
Die am höchsten priorisierten funktionalen und operativen Anforderungen (Auszug aus dem Dokument):

Nr.	Anforderung	Wert
E1	Der Roboter muss vorhandene Vegetation entfernen, zerstören oder zurückschneiden.	Eine vergleichbare Qualität wie bisher. D.h. keine Nachbearbeitung der Flächen notwendig (Ausnahme ggf. um Hindernisse).
E4	Das Dezimieren, Entfernen oder Zerstören der Vegetation muss ohne synthetisches Herbizid durchgeführt werden.	Keine Verwendung von synthetischen Herbiziden.
E6	Der Roboter muss elektrisch oder über klimaneutrale Treibstoffe angetrieben werden.	
E7	Der Roboter muss sich autonom fortbewegen und die Vegetation autonom entfernen können.	Betrieb ohne Begleitpersonen vor Ort möglich für die Use Cases, bei denen dies so vorgesehen ist.
E11	Ein vor Ort «anlernen» / konfigurieren des Roboters über die zu bearbeitende Fläche muss möglich sein.	
E20	Einsetzbarkeit unter leichtem Regen und mässigem Wind	

3. Review Anforderungen

Die am höchsten priorisierten Sicherheitsanforderungen (Auszug aus dem Dokument):

Nr.	Anforderung
S1	Der Roboter darf kein untragbares Sicherheitsrisiko für den Bahnverkehr darstellen.
S2	Der Roboter muss einen definierten Sicherheitsabstand zu den Schienen einhalten und darf durch seine Höhe das Lichtraumprofil nicht verletzen. Ein regulärer Arbeitsbereich des Roboters bis 20cm an den Sicherheitsbereich muss möglich sein.
S3	Der Roboter darf durch Sogwirkung durch Züge oder Witterungseinflüsse in seiner kontrollierten Lage nicht beeinflusst werden.
S4	Der Roboter muss durch einen Beobachter in einen sicheren Zustand und eine sichere Lage wechseln können oder diese autonom einnehmen
S5	Der Roboter muss sein Verhalten der Umgebung anpassen können und darf im Einwirkungsbereich befindliche Menschen, Tiere und Material (z.B. Arbeitsmaterial) nicht gefährden.
S6	Der Roboter darf weder feste noch bewegliche Teile der Bahnanlage beschädigen.
S7	Keine Steuerung des Roboters durch unbefugte Personen



Die Erfüllung der funktionalen, operativen und Sicherheitsanforderungen zusammen mit einer Umsetzung der priorisierten Use Cases sind Erfolgsindikatoren für das Projekt.

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)

4. Markt- und Technologiemonitoring: Marktsituation Mähroboter

- Grosse Auswahl an Rasenmäher (37 analysiert)
- Hauptunterschied ist Flächenkapazität und der Navigationsmethodik
- Alle Systeme sind für permanentes Mähen konzipiert. Die Hinderniserkennung sehr rudimentär.
- Eingrenzung des Feldes ausschliesslich mit GPS fast nirgends umgesetzt
- Bei den Mähern die GPS haben, dient GPS eher für das kontrollierte Fahren
- Die meisten sind bis zu einer Geländeneigung von 20° geeignet
- GPS kommt nur bei wenige Marken wie Ambrogio, Husqvarna und Segway vor

Modelle	Anzahl
Mit GPS	4
Mit unterstützendem GPS	9
Ohne GPS	24

4. Markt- und Technologiemonitoring: Mähroboter – Evaluationskriterien

- ✓ Gewicht / Grösse (Orientierung am MVP Anforderungskatalog)
- ✓ Geländegängigkeit (Antrieb / Bereifung / Rädergrösse)
- ✓ Lokalisierungsart
- ✓ Installationsaufwand (orientiert sich der Roboter an einem Draht oder an GPS Daten?)
- ✓ Schnittstellen / Erweiterbarkeit / Sicherheitsfunktionen
- ✓ Preis
- ✓ Leistung

Navimow H300E

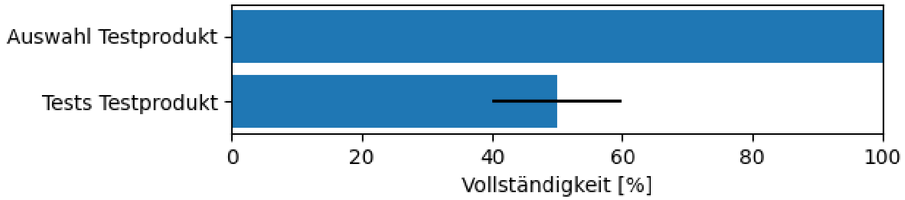
Automower 550 EPOS

Ceora 546 EPOS

→ Die engere Auswahl:

Marke	Modell	Lieferbar	Preis (CHF)
Segway	Navimow H300E	Nein	3`000
Husqvarna	Automower 550 EPOS	Ja	6`700
Husqvarna	Ceora 546 EPOS	Ja	25`000

4. Markt- und Technologiemonitoring: Status Mähroboter



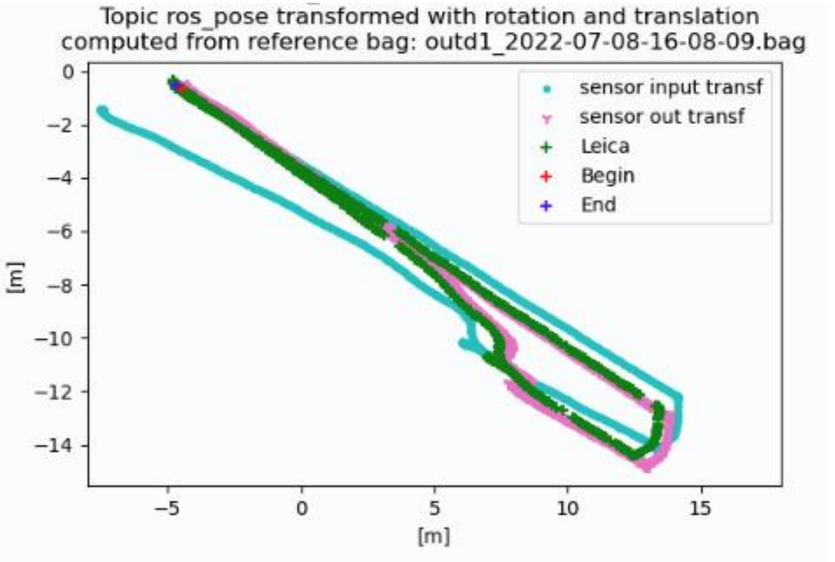
- Evaluierung diverser Mähroboter für den Gartenbereich
  - Wenige mit GPS
  - Keine für wechselnde Plätze
  - Husqvarna Automower 550 EPOS angeschafft

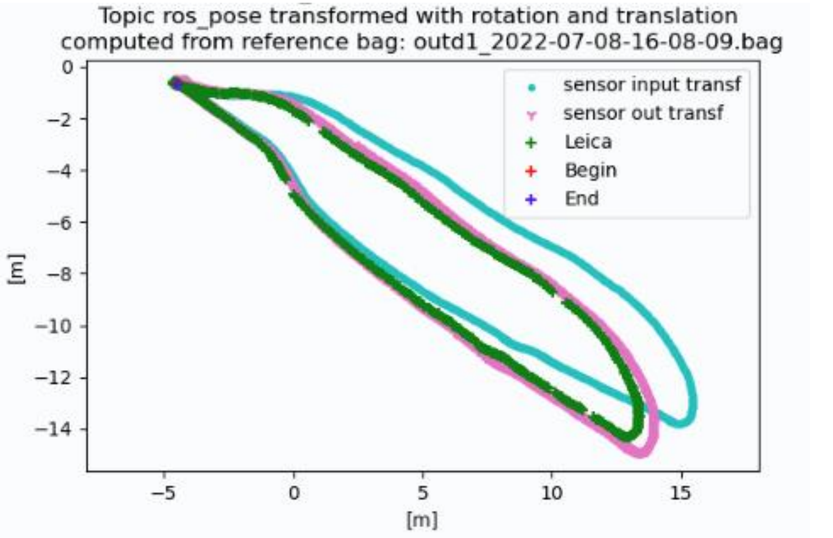
- Tests mit Husqvarna Automower 550 EPOS
  - Handling (Einrichten an neuem Platz)

- Ausstehende Tests
  - Geländefähigkeit
  - Mähwerk
  - Hinderniserkennung

4. Markt- und Technologiemonitoring: Evaluation Kamerasensor Alphasense

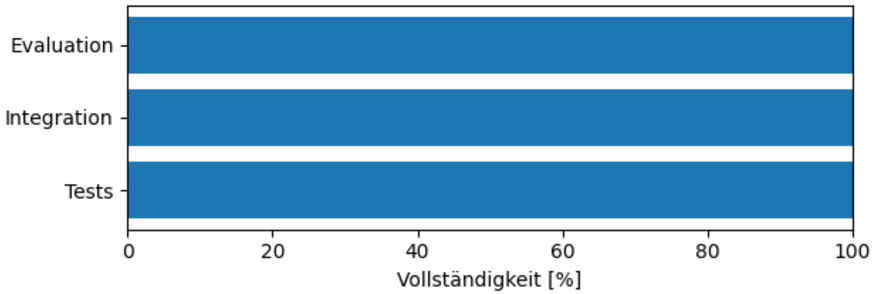
- Visual SLAM als alternative, GPS-unabhängige Lokalisierung
  - Zur Sicherstellung / Schutz des LRPs sollten GPS unabhängige Sensoren evaluiert werden
- Tests mit Kamerasensor Alphasense
  - Inbetriebnahme und Integration des Sensors in das S-bot Robotersystem
  - Intensive Tests im Labor und draussen, auf ebenem und unebenem Untergrund
  - Vergleichsmessungen Leica Tachymeter und Sensorlokalisierung



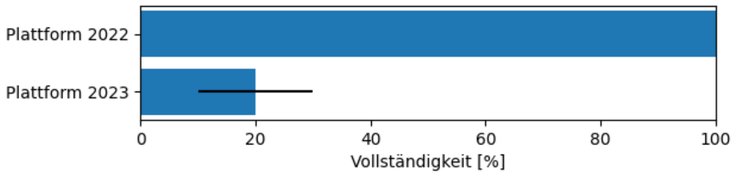


4. Markt- und Technologiemonitoring: Evaluation Kamerasensor Alphasense

- Vorläufiges Ergebnis
  - Als «Blackbox» ist der Sensor nicht unmittelbar in das S-bot System integrierbar (Konflikt Lokalisierungsalgorithmen)
  - Zur Lokalisierung muss zuerst eine Karte erstellt werden, nicht für alle Anwendungsfälle geeignet

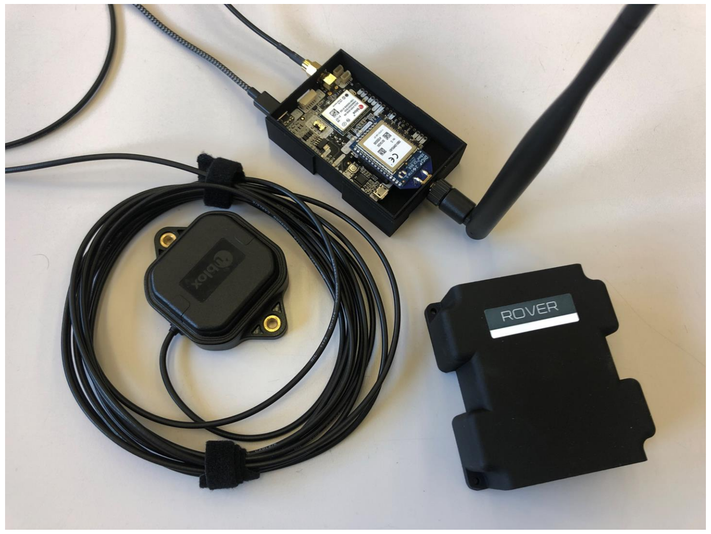


5. Lösungsentwicklung: S-bot Plattform 2022 und Sensoren



Links: S-bot ausgerüstet mit Alphasense Kamera / Visual SLAM System (1) und Ouster Lidar (2)

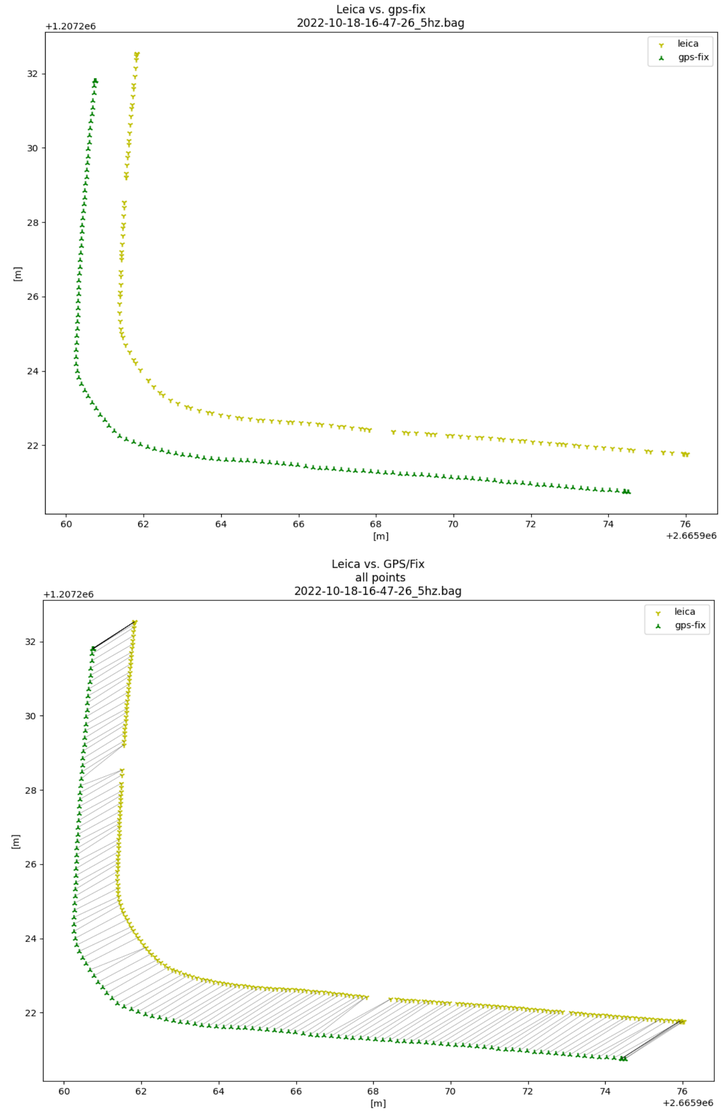
Unten: Als Ersatz für das EMLID GPS wurden Rover und Base einer neuen Generation von ublox GPS Empfängern ausgewählt.



5. Lösungsentwicklung: GPS Evaluation

Messungen und Auswertungen mit einem Singleband GPS

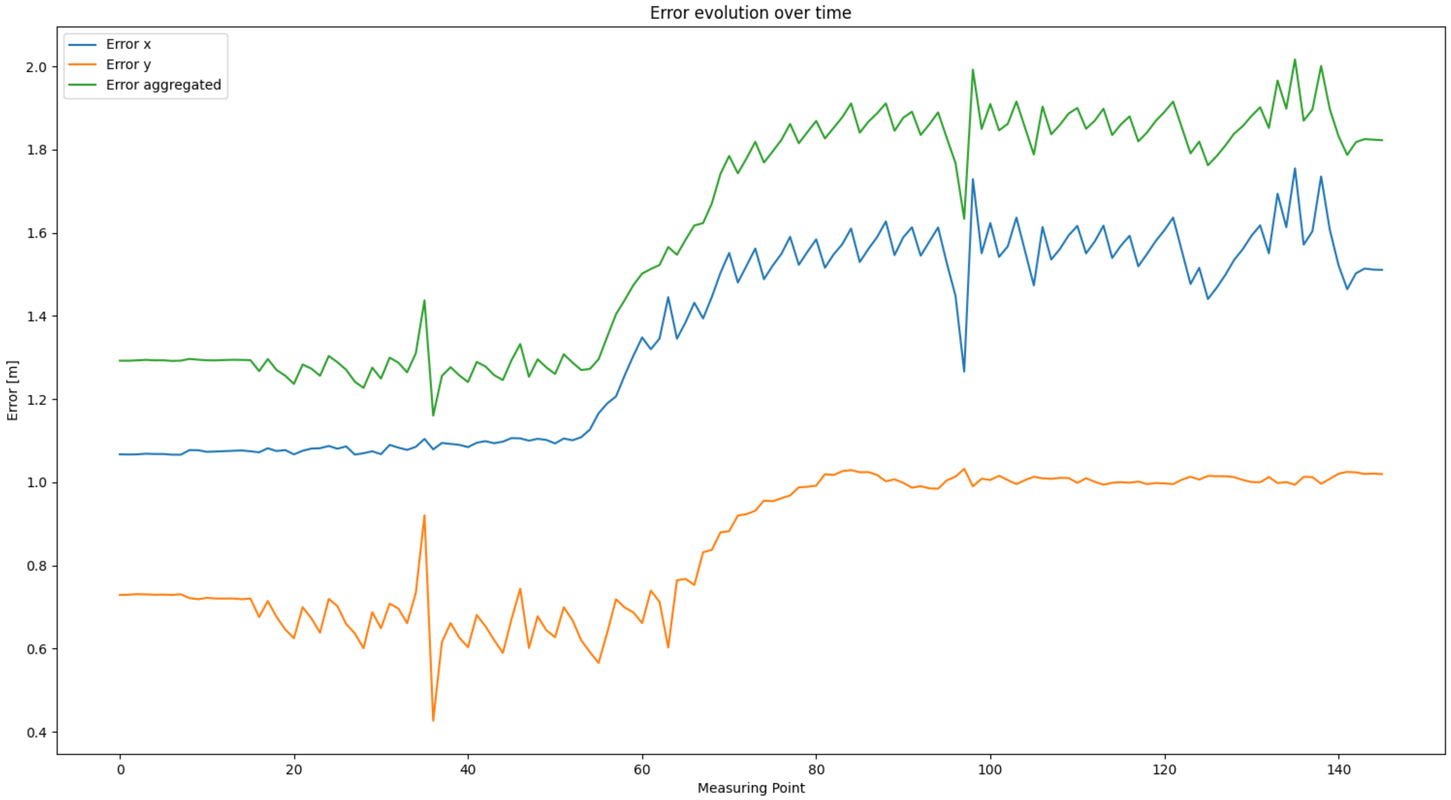
- Referenzmessungen mit Leica Tachymeter und Prisma auf dem Roboter
- Vergleich von GPS Messpunkten mit Leica Tachymeter Messungen
- Algorithmen entwickelt, um die Signale zu Filtern und auszuwerten
- Mittlere Abweichung und Ausreisser ausgewertet
- Messungen mit gutem Empfang vs. Messungen in Gebäudeschluchten
- Messungen während der Fahrt und stationär



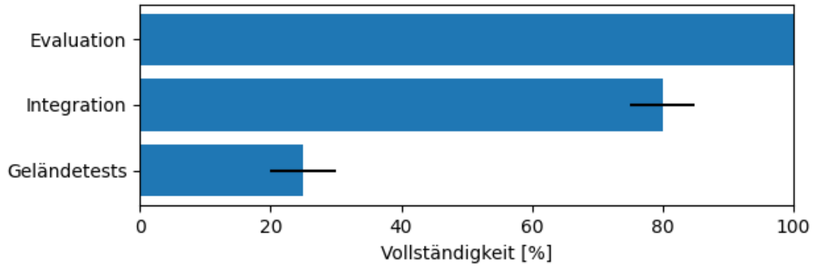
Zeitbasiertes Filtern und Matching der Signale

5. Lösungsentwicklung: GPS Evaluation

- Mit Singleband GPS Empfänger konnten weder die durchschnittliche noch die stationäre Genauigkeit in einen zufriedenstellenden Bereich gebracht werden
- Inzwischen waren neuere Empfänger mit anderen, erweiterten Technologien auf dem Markt
  - Günstiger
  - Offen / Integrierbar (vs. Black Box System)
- Entscheid: GPS Technologie zu wechseln auf einen Multiband Empfänger

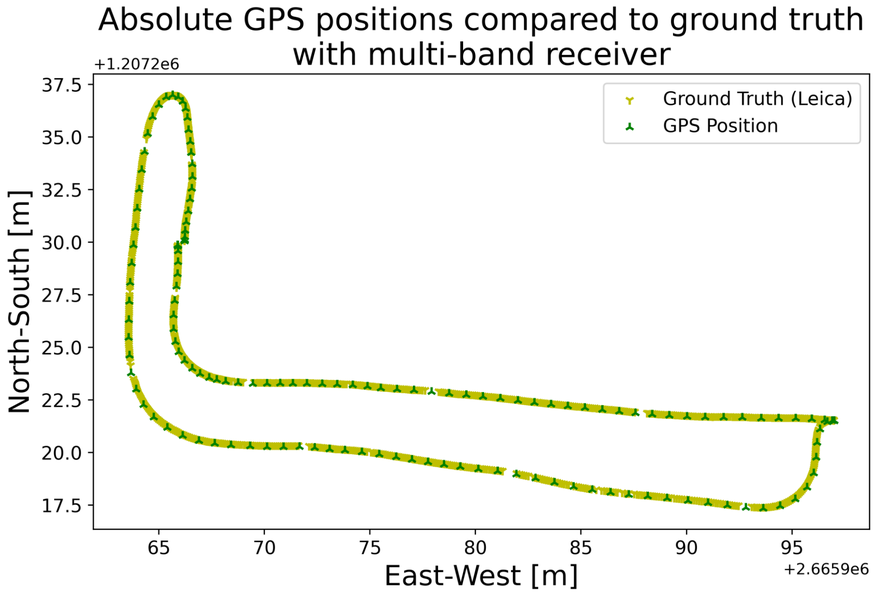


5. Lösungsentwicklung: GPS Evaluation



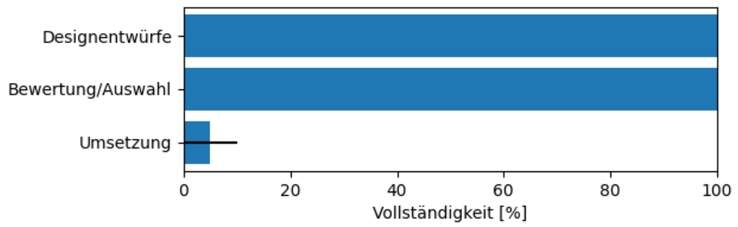
Verbesserung der Lokalisierung mit neuer GPS Generation

- Notwendiger Schritt für benötigte Lokalisierungsgenauigkeit
- Evaluierung eines Multiband fähigen GPS-Empfängers als Alternative zur Singleband Technologie
- Vorteile der Multiband Technologie:
  - Kürzere Zeit von Signalverlust zur erneuten Lokalisierung
  - Verbesserter Empfang bei Multipath Transmition
- Integration der neuen Hardware in die bestehende Infrastruktur
- Erste Ergebnisse bestätigen die höheren Erwartungen an die neuere Technologie
- Einbindung von NTRIP ist geplant (Reduktion der benötigten Infrastruktur)



5. Lösungsentwicklung: Überarbeitung Chassis / Design

- Funktionale Verbesserungen
  - Handhabung des Roboters, einfacheres Anheben
  - Sensoren und Elektronik sind besser geschützt
  - Gute «Sicht» für alle Sensoren
- Verbesserung Eindruck und Wirkung
  - Sichtbare Weiterentwicklung des Prototyps
- Stand: Verschiedene Designs erstellt und evaluiert, Umsetzung ausstehend



6. Zusammenarbeit und Projekte anderer Bahnen

Roboter Projekte zur Vegetationskontrolle sind auch bei anderen Bahn Infrastrukturbetreiber zu finden. Es wird daher ein regelmässiger Austausch mit anderen Bahnen gepflegt, insbesondere mit der DB und der ÖBB.

Bei der DB steht die Entwicklung einer „Funkgesteuerten Mini-Mähraupe mit Assistenzfunktion“ zur Ergänzung der Böschungspflege im Fokus. Dazu wurde ein kommerzieller Mähraupen Hersteller evaluiert und beauftragt. Das leistungsstarke Mulchgerät soll durch einen Operator ferngesteuert arbeiten und primär bei dichtem Bewuchs im Gleisnahen Randbereich eingesetzt werden. Durch eine Assistenzfunktion soll verhindert werden, dass die Maschine in den Gefahrenbereich manövriert werden kann. Ein fossilfreier Antrieb ist keine Anforderung.

Eine Übersicht über weitere Forschungsprojekte des „Deutsches Zentrum für Schienenforschung“ ist auf der Webseite: DZSF - Projekte (bund.de) ersichtlich. Die aktuellen Forschunsprojekte decken andere Bereiche ab

- Infrastruktur / Bau
- Cyber Security
- Sensorik im Bahnwesen allgemein: Link

7. Ausblick 2023-2025

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

HSLU Hochschule Luzern

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

Christoph Eck
Dozent

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