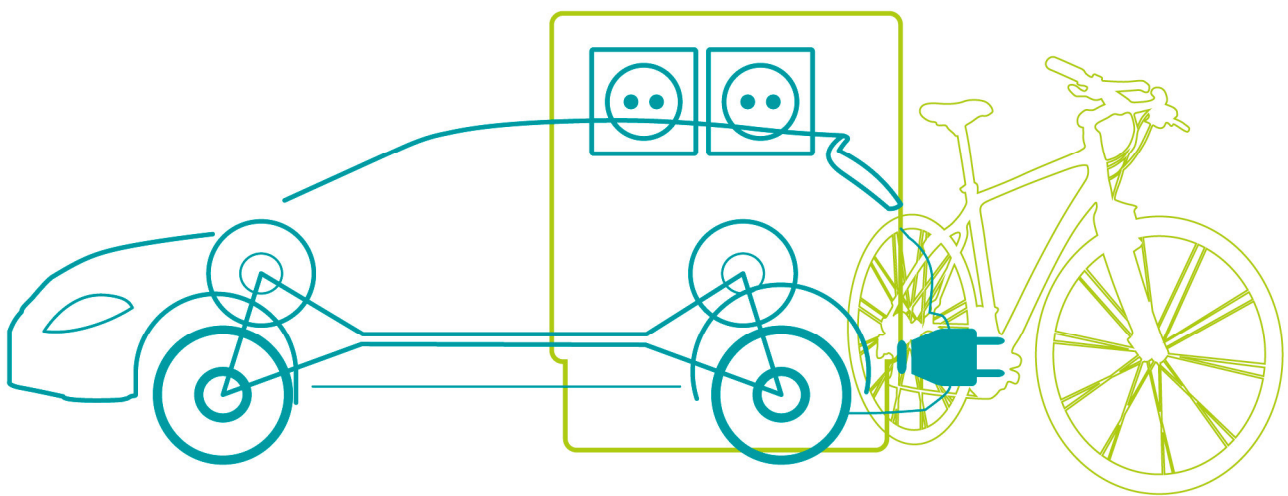




autoBAHN

autonom fahrende Eisenbahn auf
bestehenden Regionalbahnstrecken



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Neue Energien 2020“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A stylized, handwritten signature in black ink.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink that reads 'Theresia Vogel'.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

autoBAHN

autonom fahrende Eisenbahn auf bestehenden Regionalbahnstrecken

AutorInnen:

Oliver Gebauer, Universität Salzburg

Burkhardt Stadlmann, FH Wels

Josef Berger, Stern & Hafferl GmbH

Andreas Schwendemann, Siemens AG

Christian Zinner, Austrian Institute of Technology

Inhaltsverzeichnis

Es muss ein Inhaltsverzeichnis mindestens auf Überschriftenebene 1 mit Seitenangabe erstellt werden!

1	Inhaltsverzeichnis	4
2	Einleitung	5
3	Inhaltliche Darstellung	6
4	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	13
5	Ausblick und Empfehlungen	15
6	Literaturverzeichnis	16
7	Anhang	17
8	Kontaktdaten	17

Ein publizierbarer Endbericht sollte folgende Struktur (Index) besitzen und besteht aus **mindestens 10 Seiten**. Die unten angeführte **Darstellung ist eine Mindestanforderung** und kann bei Bedarf erweitert werden.

1 Einleitung

Aufgabenstellung

Das autoBAHN-Projekt hat das Ziel, auf frei zugänglichen, in der Regel einspurig geführten Regionalbahn-Gleisen einen verdichteten Verkehr autonom fahrender Fahrzeuge anzubieten, der mit Hilfe von Informationstechnologie (Sensoren, Aktuatoren, entsprechenden Rechnern, funkbasierter Zugsicherung, zentraler Steuerung) die erforderliche Hinderniserkennung, Zugsteuerung und Zugsicherung gewährleistet und den strengen Qualitätsstandards einer Zulassung öffentlicher Verkehrsmittel entspricht.

Schwerpunkte des Projektes

- (a) Umbau eines Triebwagens der Firma Stern&Hafferl durch die Firma Siemens, um den Triebwagen Software-gesteuert fahren zu können (beschleunigen, bremsen, anhalten, vordefinierte Geschwindigkeit fahren)
- (b) Zulassung des umgebauten Triebwagens zum "überwachten Fahren", bei dem ein Lokführer als letzte Instanz den Triebwagen im Notfall steuern könnte
- (c) ein durch einen Lokführer überwachtes teilautomatisches Fahren eines Triebwagens der Firma Stern&Hafferl mit aktivierter Hinderniserkennung (mittels Stereo-Vision, Laserscanner, Infrarot-Kameras, Radar und Ultraschall) und Integration in das Zugsicherungssystem, inklusive entsprechender dynamischer Bremskurvenberechnungen
- (d) Erkennung ausgewählter Hindernisse
- (e) Evaluierung der Hinderniserkennung (Anzahl der erkannten Hindernisse; Anzahl der "False Positives"; etc.)

Einordnung in das Programm

Verwendete Methoden

Im ersten von insgesamt zwei Jahren Projektlaufzeit wurden zwei Teilbereiche parallel betrieben: (1) der Umbau eines Triebwagens der Firma Stern&Hafferl durch die Firma Siemens, zusammen mit der Integration des Systems zur Zugsicherung und Zugsteuerung der Fachhochschule Wels und (2) die Entwicklung einer modular aufgebauten Hinderniserkennungskomponente: die Softwarekomponenten zur Verarbeitung der Daten, die die einzelnen Sensoren liefern, können für sich separat entwickelt werden. Zusätzlich zu den im Antrag unter Punkt (c) angeführten Sensoren wurden zwei Laserscanner angeschafft. Laserscanner (auch als Lidar-Sensoren bezeichnet) entsprechen dem Stand der Technik und werden unter anderem bei den autonom fahrenden Autos der Firma Google eingesetzt. Ein wesentlicher methodischer Beitrag zum Evaluieren der verwendeten Algorithmen und der Robustheit des Systems war die Implementierung einer Fahr-Simulationsumgebung auf Basis der Roh-

Sensordaten, mit der eine Zugfahrt am Schreibtisch durchgespielt werden kann. Damit können Änderungen an der Sensordatenverarbeitung und/oder der Sensor-Fusion mit geringem Aufwand im Büro getestet werden, ohne eine Zugfahrt nochmals durchführen zu müssen.

2 Inhaltliche Darstellung

Arbeitspaket "Hinderniserkennung"

Ziele (laut Antrag)	Ergebnisse und Meilensteine
Implementierung der <i>Perception Component</i>: Ziel ist eine zuverlässige Erkennung von statischen Hindernissen auf der Bahnstrecke (auf, zwischen und unmittelbar neben den Schienen). Die Erkennung soll bis zu 80 Meter Entfernung (entlang des Streckenverlaufs) erfolgen. Weiters sollen Hindernisse im Nahbereich des Fahrzeugs (wenige Meter) zuverlässig erkannt werden. Dieses Ziel kann nicht mit einzelnen Sensoren realisiert werden. Es müssen dafür verschiedene Sensortypen (2D Kamera, Infrarot-Kamera, Ultraschall, Radar) miteinander kombiniert werden (<i>Sensor Fusion</i>).	Die zuverlässige Erkennung auf ca. 80 m ist mit den Laserscannern möglich und getestet worden. Ebenso wurde die Erkennung mit 2D-Kameras implementiert sowie ein ausführlicher Test der Infrarot- und Radar-Sensoren durchgeführt. Die Sensor-Fusions-Komponente wurde als erweiterbarer Software-Modul entwickelt und getestet. Die Sensor-Fusions-Komponente verwendet einen Streckenatlas, der auf Basis einer exakten Vermessung erstellt wurde. Die Vermessung erfolgte im ways2go-Vorprojekt (Projektnr. 819238).

Beschreibung der Inhalte:	Ergebnisse und Meilensteine
Folgende Szenarien sind korrekt auf eine Entfernung von 80 Metern zu erkennen: Tag: Strecke frei Es befinden sich keine Objekte auf der Strecke, die groß genug sind, um Schaden am Fahrzeug anzurichten, oder im Falle einer Person dabei selbst Schaden zu nehmen. Eine freie Strecke soll zuverlässig erkannt werden. Im Falle einer unklaren Situation ist eine Geschwindigkeitsreduktion bis zum korrekten Erkenn zulässig. Ein Anhalten des Fahrzeugs ohne dem Vorhandensein eines Hindernisses soll	Statische Hindernisse werden von den Lidar-Sensoren auf die erforderliche Entfernung bei Tag und Nacht erkannt. Die Software der Universität Karlsruhe zur Kalibrierung und Verarbeitung der 2D-Kamera-Daten erlaubte nur eine Erkennung großer Objekte (zB Autos) auf ca. 30 Meter Entfernung. Deshalb wurde im zweiten Projektjahr 2011 eine Alternative zur Kalibrierung und Verarbeitung der 2D-Kamera-Daten in Kooperation mit dem AIT versucht. Die Kompetenz des AIT in diesem Bereich hat die erforderliche Erkennung von Hindernissen auf 80 m durch ein vom AIT neu konzipiertes und gebautes Stereo-Kamerasystem ermöglicht.

ausgeschlossen werden. • Unbekanntes statisches Hindernis direkt auf den Schienen Das Hindernis hat eine Größe, die den Schienenverlauf deutlich sichtbar unterbricht. Das Hindernis muss über einen Großteil Fahrt hin zum Hindernis stabil detektiert werden, damit ein Stillstand vor dem Objekt zuverlässig erreicht werden kann. • Unbekanntes statisches Hindernis im Gefahrenbereich Ein Hindernis befindet sich zwischen oder unmittelbar neben den Schienen. Das Hindernis muss über einen Großteil der Fahrt hin zum Hindernis stabil detektiert werden, damit ein Stillstand vor dem Objekt zuverlässig erreicht werden kann. Schlechte Sicht (Regen, Nebel); • Sichtweite erkennen Das System soll selbstständig die Sichtweite bestimmen, innerhalb derer Hindernisse zuverlässig erkannt werden können. • Auf die Sichtweiten angepasste Szenarien erkennen Die Fahrgeschwindigkeit wird an die Sichtweite angepasst. Dadurch reduziert sich die Entfernung, bis zu der Hindernisse erkannt werden müssen. Die "Tag"-Szenarien sind entsprechend der geänderten Entfernungen zu erkennen. Nacht: • Feststellen der benötigten Beleuchtung Um eine zuverlässige Hinderniserkennung auch in der Nacht zu gewährleisten, wird evaluiert, um wie viel die Beleuchtung verstärkt werden muss, um in einem definierten Bereich Hindernisse erkennen zu können. Auf die Sichtweiten angepasste Szenarien erkennen Die Fahrgeschwindigkeit wird an die Sichtweite angepasst. Dadurch reduziert sich die Entfernung, bis zu der Hindernisse erkannt werden müssen. Die "Tag"-Szenarien sind	Die Bestimmung der Sichtweite wurde mit den Lidar-Sensoren durchgeführt. Da der Lidar-Sensor Hindernisse auch in der Nacht erkennt, wurden keine Experimente betreffend Beleuchtungsstärke durchgeführt.
--	--

entsprechend der geänderten Entfernungen zu erkennen.

Meilensteine und Ergebnisse

Ergebnisse und Meilensteine

- Entwurf und Aufbau eines Stereokamera Systems. **[PS+0,PS+1]**
- Automatische oder Semi-automatische Kamerakalibrierung. Das Stereokamerasystem ist in dieser Projektphase als mobiles System in fast jedem Triebwagen verwendbar. Dazu muss eine mobile Halterung gebaut werden, die leicht im Führerhaus angebracht werden kann. Durch die zwischen den Testfahrten wechselnden Kamerapositionen muss eine (semi-)automatische Kalibrierung entwickelt werden, um den Testaufbau zu vereinfachen. **[PS+0, PS+3]**
- Erstellen eines zentimetergenauen Streckenverlaufs und eine automatische, exakte Bestimmung der Position des Kamerasystems relativ zur Strecke. (Lage, Position, Ausrichtung) **[PS+2,PS+4]**
- Exakte Nachkalibrierung der Kamerapositionsparameter anhand der GPS Daten des geschätzten Streckenverlaufs und anhand von Beschleunigungs-/Lagesensoren. **[PS+3,PS+8]**
- Abgleich der exakten Streckendaten mit den jeweils aktuell "gemessenen" Bildern der Kameras. **[PS+5,PS+10]**
- *Data Alignment* für *Sensor Fusion*. Fortlaufende Entwicklung und Verbesserung des Abgleichs der verschiedenen Sensordaten. **[PS+5, PS+20]**
- Finden von Unterbrechungen im Schienenverlauf unter Berücksichtigung der Bildinformation von bekannten Streckenteilen (Weichen, Bahnübergänge, ...). Unterbrechungen ab einer gewissen Größe werde als Hindernisse qualifiziert. **[PS+8,PS+13]**
- Fusion der 2D Information der beiden Kameras zur stabilen Erkennung von

ist erfolgt, und zwar nicht nur für 2D-Kamera sondern für die gesamte Sensorik: Lidar, Infrarot-Kamera, Radar der Generation, GPS + Inertial Navigation System (INS), Ultraschall

Halterungen wurden gebaut; die Kalibrierung konnte mit der Expertise des AIT erfolgreich automatisiert werden

ist erfolgt

ist erfolgreich durch den neuen Anlauf 2011 mit dem AIT gelungen

mit AIT-Lösung umgesetzt

ist laufend angepasst und weiterentwickelt worden

ist erfolgreich konzipiert und implementiert worden

ist erfolgreich konzipiert und implementiert worden

ist für Lidar und für 2D-Kamera erfolgreich

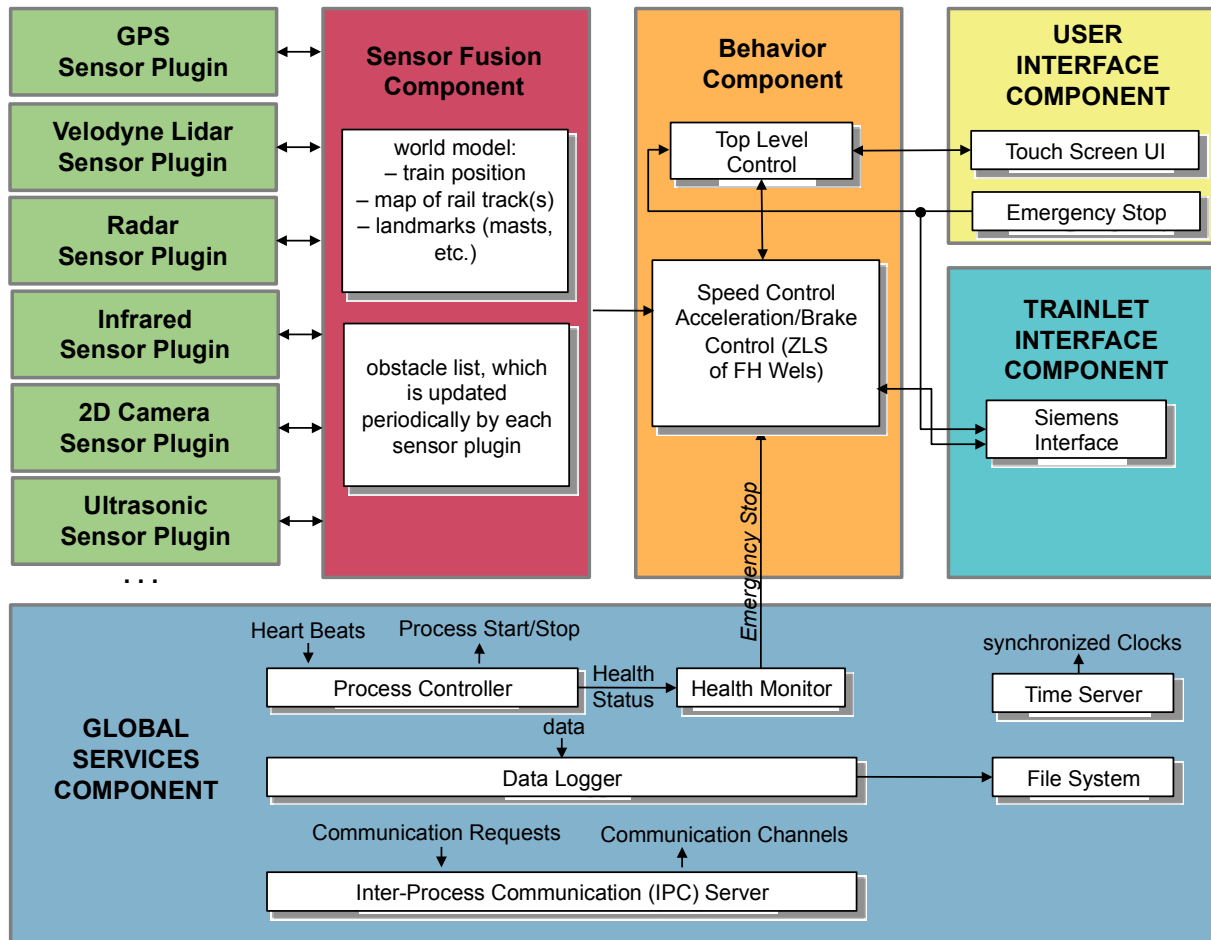
Unterbrechungen insbesondere bei schlechter Sicht und wechselnden Lichtverhältnissen [PS+9,PS+15] • Evaluierung der möglichen Stereo Matching Algorithmen unter Berücksichtigung der Testszenarien. [PS+8,PS+15] • Fusion der 2D-Infrarot und Ultraschall Informationen in die Hinderniserkennung [PS+14, PS+21] • Anpassung und Implementierung eines oder mehrerer ausgewählter <i>Stereo Matching</i> Algorithmen mit besonderem Augenmerk auf Hinderniserkennung. [PS+12,PS+18] • Transformation der 2-dimensionalen Hinderniserkennung (Schienenunterbrechung) und der 3-dimensionalen Hinderniserkennung in ein Weltkoordinatensystem relativ zur bekannten Strecke. Aus diesen Informationen wird eine Entscheidung abgeleitet (Hindernis/kein Hindernis). [PS+14,PS+21] • Multi Sensor Data Fusion – Stabile Erkennung von Hindernissen und Personen durch die Fusionierung und Klassifizierung aller Sensordaten (2D, 3D, Radar, Infrarot, Ultraschall) [PS+10,PS+24] • Fahrten mit dem von Siemens umgebauten Triebwagen zur Aufnahme neuer Daten und zum Test der möglichen Algorithmen. [PS+0,PS+24] • Einsatz des Prototypen im aktiven Fahrbetrieb als passive Hinderniserkennung. Abgleich der getroffenen Entscheidung mit der wirklichen Aktion des Zugführers (<i>ground-truth</i>). [PS+20,PS+24]	konzipiert und implementiert worden ist erfolgreich konzipiert und implementiert worden ist mit AIT erfolgreich konzipiert und implementiert worden ist erfolgreich konzipiert und implementiert worden ist erfolgreich konzipiert und implementiert worden sind erfolgt; Abnahme des umgebauten Triebwagens im Jänner 2011 konnten 2011 durchgeführt werden
---	---

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



Arbeitspaket "autoBAHN-System"

Die nachfolgende schematische Abbildung zeigt den finalen Stand der autoBAHN-Systemarchitektur. Die Hinderniserkennung wird vorab lokal von den einzelnen Sensoren durchgeführt und dann in der *Sensor Fusion Component* aufeinander abgestimmt:



Die Sensoren sind Plug-Ins der *Sensor Fusion Component*. Zwei oder mehrere reale Sensoren, wie zum Beispiel Radar und Infrarot, können zu einem virtuellen Sensor-Plug-In kombiniert werden.

Arbeitspaket "Zugsteuerung und Zugsicherung"

Nachfolgend erfolgt eine Übersicht der ursprünglich geplanten Meilensteine und Ergebnisse der Fachhochschule Wels für diese Berichtsperiode. Die vorwiegenden Aufgaben beziehen sich jedoch auf das Arbeitspaket 5 „Zugsteuerung und Zugsicherung“.

AP Nr.	Meilensteine	Soll-Anforderung
3	Global Services Component	Spezifikation & Implementierung der

		Kommunikationsschicht zwischen den Teilnehmern
	User Interface Component	• Koordiniertes Ein- und sicheres Ausschalten des autoBAHN-IT-Systems • Informationsbereitstellung an den Lokführer • Eingriffsmöglichkeit durch den Lokführer
4	Funktionsspezifikation der Fahr- und Bremssteuerung	• Spezifikation der Geschwindigkeitsvorgabe und der Notfallmaßnahmen
	Implementierung, Einbau und Inbetriebnahme	• Inbetriebnahme und Test der Geschwindigkeits- sowie Bremsvorgaben
5	Berücksichtigung der Kriterien gemäß CENELEC EN 50128	• Erstellung der relevanten Dokumente • Software Implementierung gemäß den Kriterien
	Implementierung der Software-Ergänzungen in das Zugleitsystem	• Anbindung an die Trainlet Interface Komponente • Kont. Bremskurvenberechnung • Kont. Geschwindigkeitsvorgabe • Reaktion auf detektierte Hindernisse • Konzeption eines Systems zur gleisselektiven Zugeigenortung • Konzeption eines Serversystems zur Erhöhung der Ausfallssicherheit in der Zentrale
	Durchführung umfangreicher V&V Methoden	• V&V der Methodik zur Geschwindigkeitsüberwachung • Erstellung von Tools zur Erleichterung des V&V Prozesses
	Erstellung einer formalen Software Anforderungsspezifikation für die Zugsicherung	• Erarbeitung der Systemanforderungen • Erweiterung und Evaluierung der bestehenden Anforderungsspezifikation

Nach erfolgreichen Simulationsläufen wurde das System schrittweise am realen Versuchsträger in Betrieb genommen und getestet. Anschließend wurden Fahrten mit aktiver autonomer Geschwindigkeitsvorgabe unternommen. Diese Tests waren so gestaltet, dass von einer Haltestelle zur nächsten gefahren wurde und am vorgegebenen Haltepunkt gestoppt wurde. Abbildung 2-1 zeigt exemplarisch einen dieser Versuche. Das Most Restrictive Speed Profile (MRSP) stellt das Minimum der einzelnen höchstzulässigen Geschwindigkeiten dar, weswegen sich die aktuelle Fahrzeuggeschwindigkeit stets innerhalb dieses Profils befinden muss. Dieses Profil wird durch die statischen Streckenparameter, der Fahrzeughöchstgeschwindigkeit und in einer Fahrerlaubnis enthaltenen Geschwindigkeitsbegrenzungen gebildet. Die in rot dargestellte Referenzgeschwindigkeit wurde durch das Zugleitsystem der Fahrzeugsteuerung als Sollwert vorgegeben. In blau ist die aufgezeichnete momentane Geschwindigkeit eingezeichnet. Aus dieser Grafik geht hervor, dass eine geeignete Referenzgeschwindigkeit berechnet und vorgegeben werden kann, sodass sich die Ist-Geschwindigkeit innerhalb des zulässigen Bereichs bewegt. Darüber hinaus ist auch abgebildet, dass

durch die implementierte Geschwindigkeitsvorgabe die gewünschte Endposition, der vorgegebenen Haltestelle, erreicht wird.

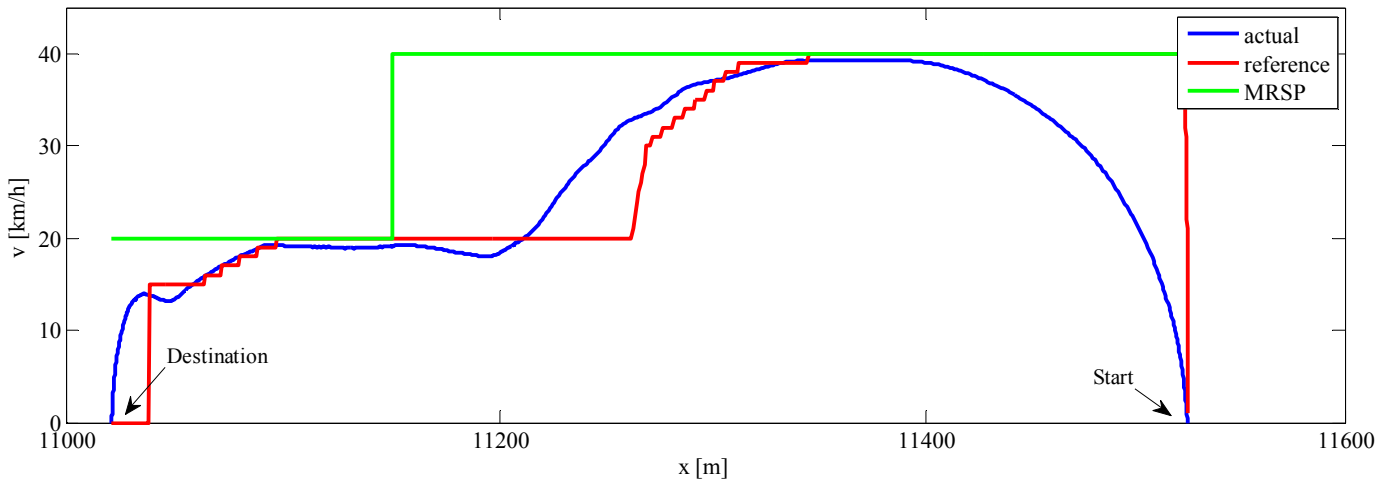


Abbildung 2-1: Erzieltes Ergebnis mit der automatischen Geschwindigkeitsvorgabe / -überwachung.

3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Wie geplant konnten der Umbau eines Triebwagens der Firma Stern&Hafferl durch die Firma Siemens zusammen mit der Integration des Systems zur Zugsicherung und Zugsteuerung der Fachhochschule Wels verwirklicht werden.

Wie geplant wurden auch die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten an der Sensor-Fusions-Komponente (im Antrag als Perception Component bezeichnet), an der Basis-Komponente (im Antrag als Global Services Component bezeichnet) und an folgenden Sensoren durchgeführt: Lidar, GPS, Mono- und Stereo-Video, Radar, Infrarot und Ultraschall

Über den Plan hinausgehend wurde die oben erwähnte Fahr-Simulationsumgebung implementiert. Zu erwähnen ist auch die professionelle Unterbringung der Rechner, deren Vernetzung und der Sensor-Anschlüsse in einem Gestell und Schaltkasten, der auf einfache Art, nämlich als ein Teil, zwischen Salzburg und Stern&Hafferl in Vorchdorf transportiert werden kann, und so einen raschen Auf- und Abbau für eine Testfahrt ermöglicht.

Nach erfolgreichem Abschluss des autoBAHN-Forschungsprojektes steht an der Traunseebahn eine Demonstrationsanlage zur Verfügung, mit der die grundsätzliche Realisierbarkeit eines autoBAHN-Systems gezeigt wurde. Auf Grund des derzeitigen Entwicklungsstandes ergibt sich folgender aktueller Status und die daraus abgeleiteten Problemstellungen für den gegenständlichen Antrag:

- Auf der Traunseebahn steht ein Fahrzeug von Stern & Hafferl zur Verfügung, mit dem Testfahrten durchgeführt werden können. Für eine Testfahrt sind die gesamte Sensorik,

Hardware, Kabel etc. zu installieren, zu kalibrieren und jeweils neu auf Funktionsfähigkeit zu testen. Dies verursacht einen hohen Aufwand und ist mit Messunsicherheiten verbunden.

- An für Regionalbahnen typischen Hindernisszenarien wurde gezeigt, dass die Hinderniserkennung mit der bisherigen, noch nicht vollständigen Sensorik bei klassischen Hindernissen (Personen, Fahrzeugen, Objekten ab einer Dimension von ca. 40 x 40 cm) funktioniert.
- Die laufende Positionsbestimmung erreicht eine Genauigkeit von ca. 2 m. Es treten noch Fälle auf, in denen durch Positionsungenauigkeit Fehlalarme (False Positives) ausgelöst werden. Die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Ortungsinformation muss erhöht werden.
- Das Fahrzeug kann zusammen mit dem Steuerungssystem ELTAS und dem Zugleitsystem (ZLS) der FH-Wels vollständig autonom fahren, Haltepunkte ansteuern und vor Hindernissen kontrolliert abbremsen. Für einen praktischen Betriebseinsatz müssen dabei die Algorithmen für die Reaktion auf Hindernisse noch deutlich weiterentwickelt werden. Derartige Verfahren sind derzeit nicht verfügbar.
- Es konnten noch nicht alle in Betracht zu ziehenden Umgebungsbedingungen (schwerer Schneefall, Schneeverwehungen, Hagel, Nacht, Dämmerung, schwerer Regen, Bewuchs...) und besonders nicht auf allen Streckenteilen (Steigung, Gefälle, enge Kurven) getestet werden.
- Die Behandlung ungewöhnlicher Hindernisklassen ist noch ungelöst.



Abbildung 3-1: Ein verwehtes Absperrband als Beispiel für ein ungewöhnliches Hindernis (Scheinhindernis)

- Es können bei besonderen Hindernisformen Fälle auftreten, in denen erkannte Hindernisse während der Fahrzeugannäherung nicht dauerhaft als solche erkannt bleiben.
- Bisher werden statische Hindernisse erkannt. Die Verfolgung von Hindernissen in Bewegung muss entworfen und implementiert werden.
- Die Rate der Bilder pro Sekunde liegt in der Stereo-Bildererkennung noch zu niedrig. Der Grund dafür ist, dass die bisher verwendete Hardware an ihre Leistungsgrenzen stößt.
- Für die durch eine Person zu bedienende zukünftige Zentrale sind die erforderlichen Verfahren und Konzepte zu entwickeln und prototypisch umzusetzen.

- Die behördlichen Anforderungen, die an eine autonom fahrende Bahn auf frei zugänglicher Strecke zu stellen sind, sind unbekannt. Die zielgerichtete Entwicklung der weiteren Funktionalität erfordert deren Klärung.

Die für ein zulassungsfähiges System bestehenden Probleme können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Die Hinderniserkennung ist noch nicht vollständig für alle denkbaren Szenarien (Nacht, Nebel, schwerer Schneefall...) und Objektarten und –größen noch nicht ausreichend sicher.
- Die adäquate Reaktion des Fahrzeuges auf potentiell gefährliche Hindernisse ist noch nicht für den Linienbetrieb einsatztauglich (z.B. fehlen adäquate Bremskurven).
- Die autonome Zugortung ist noch nicht genau und zuverlässig genug.
- Die bisherigen Triebfahrzeugführertätigkeiten und die Neuzuteilung auf das Automatisierungskonzept sowie auf den Fahrdienstleiter müssen festgelegt und prototypisch umgesetzt werden.
- Die Gewährleistung der Fahrgastsicherheit bei nicht vorhandenem Triebfahrzeugführer muss konzipiert werden.
- Die Erarbeitung eines über einen Prototypen hinausgehenden Zugsicherungssystems für vollautomatisierte Regionalbahnen ist erforderlich.

4 Ausblick und Empfehlungen

Im autoBAHN-Projekt wurde die Machbarkeit des autonomen Bahnfahrens auf frei zugänglichen, in der Regel einspurig geführten Regionalbahn-Gleisen mit Hilfe von Informationstechnologie (Sensoren, Aktuatoren, entsprechender Software und Rechnern, funkbasierter Zugsicherung, zentraler Steuerung) nachgewiesen. Das längerfristige Ziel ist, durch weitere Innovationen das autoBAHN-System – einen verdichteten Schienenverkehr autonom fahrender Fahrzeuge – so weit zu entwickeln, dass bis zum Ende dieser Dekade Regionalbahnen wesentlich attraktiver und wirtschaftlicher betrieben werden können. Daraus ergeben sich als weitere Forschungsaufgaben die Verbesserung der Hinderniserkennung, die Fahrzeugkoordination und damit zusammenhängend die Spezifikation von auf Regionalstrecken wirtschaftlich umsetzbaren und zulassungsfähigen Anforderungen für die Einhaltung der Sicherheit eines autonomen, öffentlichen Verkehrsmittels.

Die Weiterführung der Forschungsarbeiten bis zur Realisierbarkeit als zulassungsfähiges Produkt erscheint angesichts des Potentials der autonom fahrenden Bahn und der Forschungserfolge wünschenswert. Ein zu diesem Zweck im Programm „Neue Energien 2020 – 5. Ausschreibung“ des Klima- und Energiefonds eingereichter Forschungsantrag wurde abgelehnt. Es besteht die Absicht, eine neuerliche Einreichung unter Berücksichtigung der Ablehnungsgründe in der nächsten Ausschreibung durchzuführen. Schwerpunkt der zukünftigen Forschungsarbeiten, die auch auf einem Probetrieb aufbauen, wird die Erarbeitung und Erfüllung erforderlicher Zulassungsbedingungen für eine autonom fahrende Bahn sein.

5 Literaturverzeichnis

- Breismann, H., & Schmidt, K. (2002). Sharing tracks with driverless trains. *Railway Gazette, Metro Report*, S. 11-12.
- Henke, C., Rustemeier, C., Schneider, T., Böcker, J., & Trächtler, A. (2007). RailCab - Ein Schienenverkehrssystem mit autonomen, Linearmotor getriebenen Einzelfahrzeugen. *Internationaler ETG-Kongress*.
- Kaleli, F., & Akgul, Y. S. (2009). Vision-based Railroad Track Extraction Using Dynamic Programing. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*
- Kim, Z., & Cohn, T. E. (2004). Pseudoreal-time Activity Detection for Railroad Grade-Crossing Safety. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 5(4), S. 319-324.
- Kruse, F., Milch, S., & Rohling, H. (2002). Multi Sensor System for Obstacle Detection in Train Applications. *German Radar Symposium*.
- Loose, H., Franke, U., & Stiller, C. (2009). Kalman particle filter for lane recognition on rural roads. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*.
- Marmo, R., Lombardi, L., & Gagliardi, N. (2006). Railway Sign Detection and Classification. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*.
- Miyayama, H., Ohya, T., Katori, T., & Izumi, T. (2008). Obstacle Recognition from Forward View Images from Trams. *Computers in railways XI*, (S. 617-628).
- Möckel, S., Scherer, F., & Schuster, P. (2003). Multi-Sensor Obstacle Detection on Railway Tracks. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, (S. 42-46).
- Oertel, W. (2002). Hinderniserkennung für Schienenfahrzeuge. In *Jahresbericht 2001* (S. 50-51). Fraunhofer-Institut Informations- und Datenverarbeitung IITB.
- Oertel, W. (2000). Sehende Computer - die neuen Lokführer. *Automatisierungstechnische Praxis atp* 42(11), S. 43.
- Schindler, K. (2005). Spatially consistent 3D motion segmentation. *International Conference on Image Processing*, (S. 409-412).
- Thrun S., Burgard W., Fox D., Probabilistic Robotics, MIT Press (2005)
- Urban, H. (2008). Kamerasystem zur Fahrwegbeobachtung. *ETR Eisenbahntechnische Rundschau* 4/08, S. 232-233.

Viola, P. A., & Jones, M. J. (2005). Detecting Pedestrians Using Patterns of Motion and Appearance. *International Journal of Computer Vision* 63(2) , S. 153-161.

EEIG-ERTMS (2008). Reference EEIG 97E881-7A „Description of the brake curve calculation”.

Friman, B. (2010). An algorithm for braking curve calculations in ERTMS train protection systems. *Advanced Train Control Systems*, S. 65-73

Reibeling, C. (2009). Positive Train Control for Australia – An Overview of the Advanced Train Management System. *IEEE Vehicular Technology Magazine* 12/09, S. 35-44

Mücke, W. (2005). Betriebsleittechnik im öffentlichen Verkehr.

Karvonen, H., Aaltonen, I., & Wahlström, M. (2010). Unraveling Metro Train Driver's Work: Challenges in Automation Concept. *Proceedings of ECCE 2010 Conference*, S. 233-240

6 Anhang

7 Kontaktdaten

Wolfgang Pree

Embedded Software & Systems Research Center, Universität Salzburg

Jakob-Haringer-Str. 2

5020 Salzburg

Tel: +43 662 8044-6488

Fax: +43 662 8044-6480

office@cs.uni-salzburg.at

www.SoftwareResearch.net

Auflistung der weiteren Projekt- bzw. KooperationspartnerInnen Name / Institut oder Unternehmen

IMPRESSUM

Verfasser

Software Systems Center
University of Salzburg
Jakob-Haringer-Str. 2
5020 Salzburg
Tel: +43 662 8044-6404
Fax: +43 662 8044-6480
E-Mail: office@cs.uni-salzburg.at
Web: www.SoftwareResearch.net

Projektpartner und AutorInnen

Oliver Gebauer, Universität Salzburg
Burkhardt Stadlmann, FH Wels
Josef Berger, Stern & Hafferl GmbH
Andreas Schwendemann, Siemens AG
Christian Zinner, Austrian Institute of Technology

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Straße 5/22
1060 Wien
E-Mail: office@klimafonds.gv.at
Web: www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.

Weder der Klima- und Energiefonds noch die Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) sind für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH