# Autonomes und Vernetztes Fahren auf der Schiene - ATLAS-Modellprojekt der HS Mittweida

Christian Schulz, Jan Thomanek
Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

*Autonome, fahrerlose Einzelfahrer bei der Bahn können ein Ansatz sein, um wieder mehr insbesondere Güterverkehr von der Straße auf die Schiene zu holen. Hintergrund, Probleme und Lösungsansätze werden aufgezeigt. Dann erfolgt eine Vorstellung der in den letzten Jahren an der Hochschule Mittweida vor allem im Rahmen studentischer Projekte entwickelten Modellanlage zu ATLAS – „Asynchroner Transport-, Logistik- und Automatisierungsmodus auf der Schiene". Das System wurde bereits auf der IWKM 2018 vorgestellt, seitdem gibt es signifikante Weiterentwicklungen insbesondere im Rahmen studentischer Arbeiten. Diese werden auch im Bezug zur realen Technik des autonomen und vernetzten Fahrens beschrieben und Perspektiven aufgezeigt.*

## 1. Einleitung

Das fahrerlose autonome und vernetzte Fahren auf der Straße ist eines der hochaktuellen technischen Themen, an denen mit Hochdruck gearbeitet wird und das auch in den Medien sehr präsent ist. Es laufen inzwischen weltweit Testfahrten auf öffentlichen Straßen und Autobahnen, und in absehbarer Zukunft sind gewaltige Umwälzungen im Bereich der Mobilität zu erwarten.

Das autonome Fahren auf der Schiene führt dagegen ein Schattendasein, obwohl dort die Bedingungen eigentlich viel günstiger sind. Die Schiene bietet hervorragende Voraussetzungen für einen flexiblen, automatisierten Transport und damit für einen deutlich höheren Anteil am Verkehrsaufkommen, als es derzeit der Fall ist. [1]

Die Thematik wurde bereits auf der letzten IWKM im Herbst 2018 diskutiert [2]. Die grundsätzlichen Überlegungen zum autonomen Fahren auf der Schiene und den dazu notwendigen Paradigmenwechseln im Bahnverkehr sollen im Folgenden etwas gestrafft erneut dargestellt werden. Schwerpunkt sind dann die Fortschritte bei der ATLAS-Demonstrationsanlage der HS Mittweida in den letzten drei Jahren. Es sind in diesem Zeitraum etwa 20 aufeinander aufbauende studentische Arbeiten zu der Thematik entstanden, die das Projekt wesentlich vorangebracht haben. Abschließend sollen Ideen und Visionen zum autonomen und vernetzten Fahren auf der Schiene dargestellt werden.

## 2. Hintergrund, Probleme und Lösungsansätze

Ein kurzer Blick in die Historie: Die rasante Entwicklung der Eisenbahn etwa seit Mitte des 19. Jahrhunderts war unmittelbar verknüpft mit der industriellen Entwicklung. Die entscheidende Innovation war damals der Antrieb in Form der mobilen Dampfmaschine. Es ergab sich damit die Grundstruktur des Zuges mit Lokomotive und antriebslosen Wagen, die Züge wurden immer schneller, länger und schwerer. Das neue Verkehrsmittel war dem damaligen Fernverkehr mit Pferdewagen haushoch überlegen und setzte sich in atemberaubendem Tempo durch. Es entstand rasch ein dichtes Netz von Eisenbahnstrecken. Das damalige Bautempo kann uns heute noch in Erstaunen versetzen und zeugt von der Faszination, die von dem neuen Verkehrsmittel ausging.

Seit einigen Jahrzehnten ist eine zunehmende Verlagerung sowohl des Personen- als auch des Güterverkehrs auf die Straße zu beobachten. Die Bahn hat zumindest in Deutschland ihre Rolle als dominierendes Verkehrsmittel längst eingebüßt. Neben anderen sind drei wichtige Ursachen technischer Art zu nennen:

Erstens fahren bei der Bahn nach wie vor hauptsächlich Züge mit Lok und antriebslosen Wagen. Daraus ergibt sich der gesamte Betriebsablauf auf der Schiene, der im Vergleich zur Straße viel zu schwerfällig, langsam und unflexibel ist und gewaltige Stahlmassen bewegt. Zweitens geht die gesamte Steuerungs- und Sicherheitsphilosophie von dem Prinzip „schlaue Strecke – dummer Zug" aus, auch wenn es hier in den letzten Jahren mit dem ETCS-System eine technische Weiterentwicklung gegeben hat [3]. Auf Grund der langen Bremswege sind riesige Sicherheitsabstände nötig. Damit sind „ausgelastete" Schienenwege im Vergleich zu einer befahrenen Autobahn praktisch leer (Bild 1). Drittens sind viele Ziele mit der Bahn nicht direkt erreichbar, das bedeutet ein Umsteigen von Personen und ein Umladen von Gütern, beides entfällt beim Verkehr auf der Straße.

Bild 1: Leere Schiene - Volle Straße [4]

Entscheidender Lösungsansatz für mehr Flexibilität ist der Übergang zu selbstfahrenden, fahrerlosen Einzelwagen (Einzelfahrer) und damit der Verzicht auf die Bildung von Zügen und einen Fahrplan. Ein Antrieb ist nichts Besonderes mehr, und es gibt deshalb keinen technisch vernünftigen Grund, an der Grundstruktur des Zuges festzuhalten. Zum anderen sind die Informations-, Kommunikations-, Automatisierungs- und Sensortechnik soweit fortgeschritten und die Bedingungen für ein automatisiertes Fahren auf der Schiene so günstig, dass ein Fahrer keineswegs notwendig ist.

Wenn auf eine Zugbildung verzichtet wird, können die Wagen wesentlich leichter gebaut werden. Damit sinkt der Energieverbrauch beim Beschleunigen, und die Bremswege verkürzen sich. Verringerte Achslasten bedeuten geringere Ansprüche an den Schienenweg und an Brücken und damit unmittelbar geringere Kosten.

Beim Antrieb könnte vieles von den Entwicklungen für Elektroautos übernommen werden, wobei die technischen Bedingungen auf der Schiene wesentlich günstiger sind als auf der Straße. Die Reibung ist geringer, und es bestehen ideale Möglichkeiten für eine 100%ige vorausschauende Fahrweise mit effizienter Energierückgewinnung beim Bremsen – das geht auf der Straße nur ansatzweise.

Auch die Steuerung der Fahrzeuge kann vieles von dem übernehmen, was gegenwärtig für das autonome Fahren auf der Straße entwickelt und erprobt wird. Das betrifft sowohl die Sensorik (Kamera, RADAR, LIDAR, Ultraschall) als auch die Kommunikation der Fahrzeuge untereinander und mit der Infrastruktur. Wichtig ist dabei, dass die Fahrzeuge untereinander eine Art verteilte Steuerung bilden. Sie wählen ihre Strecke und steuern sie an (insbesondere die Weichen) und nicht umgekehrt, also ein Wechsel zum Prinzip „schlaue Fahrzeuge – dumme Strecke“.

Der gesamte bisherige Betriebsablauf der Bahn wäre grundlegend umzugestalten. Dabei gibt auf Grund des relativ abgeschlossenen Schienensystems weniger Unwägbarkeiten und es ist keine permanente Lenkung der Fahrzeuge erforderlich. Hauptpunkte sind die Abstandssteuerung und Kollisionsvermeidung, das Weichenstellen und die kooperative Fahr- und Streckenplanung.

Eine unabhängige vollständige Überwachung der Strecke kann mit Kamerasystemen und Bildauswertung erfolgen. Damit wäre redundant zu den vorliegenden Informationen der Positionen und Fahrzeugtrajektorien eine weitere Sicherheitsebene möglich, die auch unerwartete Hindernisse und andere Risiken behandelt. Der jetzige Bahnbetrieb geht von einem abgeschlossenen System ohne Fremdeinflüsse aus und kennt als Sicherheit gegen Störungen vor allem die Aufmerksamkeit des Lokführers. Bei unerwarteten Hindernissen auf der Strecke kommt es immer wieder zu schweren Unfällen.

## 3. ATLAS-Demonstrationsanlage - Überblick

ATLAS ist in diesem Kontext die Abkürzung für „Asynchroner Transport-, Logistik- und Automatisierungsmodus auf der Schiene“ und auch die Bezeichnung einer Demonstrationsanlage, die im Rahmen studentischer Projekte 2006/2007 entstand ([5] [6]) und nach einer längeren Pause seit etwa drei Jahren weiterentwickelt wird. Ziel dieser Anlage ist es, die genannten Lösungsansätze und Prinzipien zu demonstrieren und zu testen. Als Grundlage wurde das LGB-System [7] gewählt, das auf Grund der Spurweite von 45 mm und den entsprechend großen Fahrzeugen entspannte Bedingungen für eigene elektronische Komponenten bietet. Das Atlas-System besteht aus den Gleismodulen und den Fahrzeugen.

Die Gleismodule sind ein-, zwei- oder dreigleisig. Sie haben eine Basislänge von 1800 mm, daneben gibt es Kurven und kürzere Ausgleichsmodule sowie Endmodule mit Puffern. Insgesamt gibt es gegenwärtig 48 Module mit einer Streckenlänge von über 120 m. Sie enthalten 42 Weichen und 155 Balisen, die elektronischen „Kilometersteine“ [8]. Mit diesen Modulen kann relativ schnell eine große Anlage variabel aufgebaut werden. Einen Eindruck von einer aufgebauten Anlage vermittelt Bild 2:

Bild 2: ATLAS-Teilanlage

Die vorhandenen 6 Eigenbau-Fahrzeuge [6] basieren auf einem LGB-Antriebsmodul. Sie werden derzeit massiv überarbeitet, es erfolgt dabei eine konsequente Trennung in low-level- und high-level-Ansteuerung. Dabei wird die low-level-Steuerungselektronik neugestaltet (siehe 4.). Die Positionserkennung, Abstandssicherung und die Sonderfunktionen Licht und Sound werden neu gestaltet. Hinzugefügt werden eine Weichenansteuerung vom Fahrzeug aus und eine „Handsteuerung“ über bluetooth und Smartphone-APP. - Die high-level-Ebene gab es bisher noch nicht. Hier geht es um die übergeordnete Geschwindigkeits- und Richtungssteuerung, die Vernetzung der Fahrzeuge untereinander und Szenarien des kooperativen Fahrens (siehe 5.).

## 4. Gleismodule und Low-Level-Ansteuerung

Die Gleismodule haben als Basis-Infrastruktur folgende Funktionen zu erfüllen:
- Stromversorgung aller Komponenten
- Positionsbestimmung über Balisen
- Richtungssteuerung über Weichen

In der Vorgängeranlage entsprachen **Stromversorgung** und zentrale Weichenansteuerung der üblichen Modellbahntechnik mit DCC-Protokoll [5]. Hier erfolgte eine konsequente Änderung, die Gleise führen nur noch 24V-Gleichspannung zur Versorgung aller Komponenten.

Die Balisen als „elektronische Kilometersteine" dienen der eindeutigen **Positionsbestimmung** der Fahrzeuge. Es sind im ATLAS-System kleine, unter den Schwellen eingebaute Platinen [9] mit einem Infrarot-Sender, der im 7-ms-Zyklus einen Code ausgibt (Bild 3). Dieser kann von passierenden Fahrzeugen empfangen werden, dazu befinden sich an beiden Fahrzeugenden die zugehörigen IR-Empfänger.

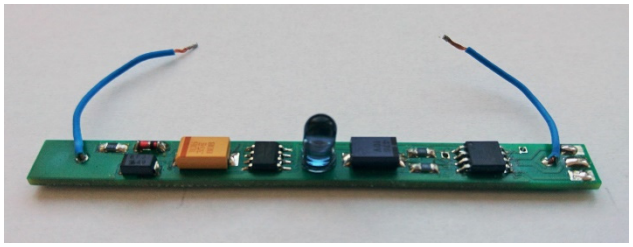

Bild 3: Infrarot-Balise im ATLAS-System

Der IR-Sendecode verwendet eine Trägerfrequenz von 56 kHz und eine Manchester-Codierung für die individuelle 10-Bit-Balisennummer mit Startbit und Paritätsbit, siehe Bild 4. Das Signal wird von einem kleinen ATtiny25-Mikrocontroller erzeugt, der die IR-Sende-LED ansteuert. Jedes Gleismodul enthält mindestens zwei Balisen, die größeren deutlich mehr. Der typische Abstand ist etwa 0,5..1,0 m. Da der Abstand zwischen Balise und IR-Empfänger im Fahrzeug nur 30 mm beträgt, wurde die IR-Sendeleistung sehr gering gehalten.

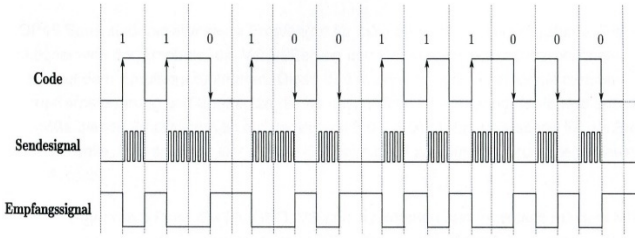


Bild 4: IR-Codierung des Balisensignals [9]

Als Empfänger im Fahrzeug wird der TSOP4856 verwendet [10], der für die 56-kHz-Trägerfrequenz ausgelegt ist. Während einer Überfahrt mit der maximalen Fahrzeuggeschwindigkeit von etwa 1 m/s = 1 mm/ms wird der Balisen-Code 5...8x sicher empfangen, so dass eine verlässliche Positionsbestimmung erreicht wird. Die Zwischenpositionen können dann anhand der Fahrzeuggeschwindigkeit interpoliert werden.

Die **Richtungssteuerung** der Weichen erfolgt vom Fahrzeug aus über ein IR-Signal mit 40 kHz Trägerfrequenz zur Vermeidung von Störungen durch die Balisen. Es können bis zu vier Fahrstraßen auf dem aktuellen Gleismodul geschaltet werden, codiert über ein Tastverhältnis 1:4, 2:3, 3:2 oder 4:1 im 5-ms-Zyklus [11].

Das IR-Signal wird über TSOP4840 [10] empfangen, die jeweils in den Einfahrten von Gleismodulen mit Weichen in einer Schwelle angeordnet sind. In die Gleismodule ist eine Elektronik auf Basis des Mikrocontrollers M16C eingebettet, die die Signale auswertet und die zur entsprechenden Fahrstraße gehörenden Weichen ansteuert. Die elektrische Ansteuerung der LGB-Weichenantriebe verlangt eine H-Brücke, da umgepolt werden muss. Es wurde der ZXBM5210 verwendet [12].

Bild 5 zeigt das Gleismodul 332530 mit 7 Balisen (blau), 5 IR-Empfängern (rot) und 5 Weichen als Beispiel. Es gibt 1, 2 oder 4 Fahrstraßen je nach Einfahrtgleis [13].

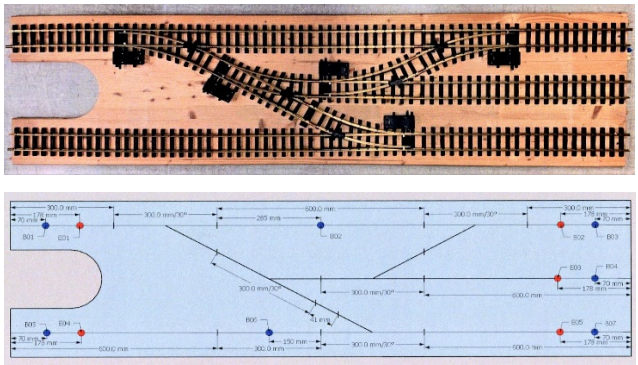

Bild 5: Gleismodul 332530; blau: Balise, rot: IR-Empfänger [13]

Bei Einfahrt in ein Weichenmodul wird die entsprechende Balise detektiert und dann das IR-Signal für die Fahrstraße gesendet. Wichtig ist dabei der Abstand zwischen IR-Empfänger und erster Weiche der Fahrstraße, die ja gestellt sein muss, wenn das Fahrzeug sie erreicht. Messungen [14] ergaben etwa 30 ms für das Weichenstellen (Bild 6), dazu kommen etwa 20 ms für die sichere mehrfache Detektion des IR-Empfangssignals. Das bedeutet einen Fahrzeugweg von etwa 50 mm bei 1 mm/ms. Der Mindestabstand zwischen IR-Empfänger und Weiche liegt bei allen Modulen über 300 mm, somit besteht eine gute Sicherheitsreserve.

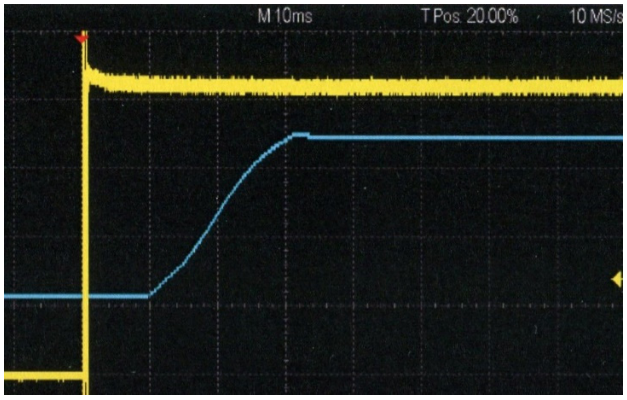


Bild 6: Weichenantrieb; gelb: Schaltsignal, blau: Bewegung [14]

Alle **Gleismodule** sind mit ihrer Topologie, ihren Abmessungen, Balisenpositionen und -nummern sowie den Weichenpositionen und möglichen Fahrstraßen in einer Datenbank systematisch erfasst. Das bildet eine wesentliche Basis für das unter 5. beschriebene statische Umfeldmodell.

Die **Fahrzeuge** (Bild 7) haben als Kern der low-level-Steuerung einen M16C-Mikrocontroller [15], der alle Sensoren auswertet und alle Aktoren ansteuert. Es gibt jeweils vorn und hinten am Fahrzeug einen Infrarotsender für die Fahrstraßen und einen Infrarotempfänger für die Balisensignale. Außerdem ist ein optischer SHARP-Abstandssensor in beide Fahrtrichtungen vorhanden. Die Fahrzeuge haben vorn und hinten jeweils zwei Mehrfarb-LEDs zur Signalisierung von Richtung und Fahrstraße, und es ist ein Beeper für beliebige akustische Signale vorhanden. Der Motor wird über ein H-Brücke in Geschwindigkeit und Richtung angesteuert.

Bild 7: ATLAS-Fahrzeug mit IR-Abstandssensor und LEDs

Auf der low-level-Ebene sind als autarke Funktionen geplant: eine Abstandsregelung oder ein Notstopp aufgrund des Abstandssensors, das Einschalten des IR-Fahrstraßensignals bei Überfahren des IR-Empfängers im Gleis sowie eine Geschwindigkeitsregelung mit Ausgleich der Fehler durch Spannungsabfall im Gleis.

Die high-level-Ansteuerung für Fahrziel, Geschwindigkeit und die Sonderfunktionen ist in zwei Varianten geplant. Zum einen laufen die Arbeiten zum autonomen und vernetzten Fahren (siehe 5). Die Funktionalität kann aber auch durch den Menschen übernommen werden, mit dem Nebeneffekt eines höheren Spielwertes der Anlage. Nur automatisch Fahren ist langweilig, ein Mischbetrieb durchaus reizvoll. Dazu wird über eine bluetooth-Schnittstelle ein UART-Protokoll an den M16C übertragen und es entstand eine entsprechende Smartphone-APP [16]. Diese hat einen Kinder-Spielmodus mit den Fahrstraßen A, B, C und D, den Sonderfunktionen F1, F2 und F3, Notstopp, Beep, Vor/Rück und Geschwindigkeitssteuerung ähnlich einer Modellbahn. Es gibt auch einen Entwicklermodus mit zusätzlichem Zugriff auf die internen Daten wie UART-Buffer, Balisennummern, bluetooth-Feldstärken und Verbindungsqualität.

## 5. High-Level-Plattform und Umfeldmodell

Selbstfahrende Fahrzeuge benötigen für die Berechnung autonomer Fahrfunktionen eine entsprechende leistungsfähige aber auch energieeffiziente Hardwareplattform. Um den Anforderungen an funktionelles und sicheres KI-gesteuertes Fahren zu genügen, wird das ATLAS-Fahrzeug um eine High-Level-Plattform auf der Basis des NVIDIA® Jetson™-Systems erweitert. Das Jetson Nano-Modul repräsentiert einen kostengünstigen KI-Computer, um Daten hochauflösender Sensoren zu verarbeiten und neuronale Netze zu betreiben unter Berücksichtigung der notwendigen Energieeffizienz eingebetteter Systeme. Die strikte Trennung zwischen den autonomen Fahrfunktionen und den Low-Level-Funktionen zur Motorsteuerung und Gleiskommunikation ermöglicht die Wiederverwendung bereits entwickelter Hard- und Software.

Die Systemarchitektur des neuen ATLAS-Fahrzeugs besteht damit im Kern aus zwei Komponenten (Bild 8):

- High-Level-Komponente zur Verarbeitung und Fusion der Sensordaten, Lokalisierung innerhalb der Gleisanalage, Berechnung der Fahrroute und Kommunikation mit anderen Fahrzeugen sowie Infrastrukturelementen
- Low-Level-Komponente zur Ansteuerung der Motoren, Kommunikation mit den Gleismodulen für Lokalisierung und Weichensteuerung

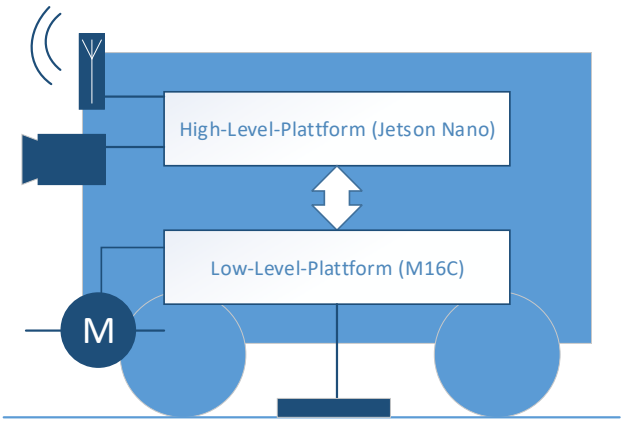


Bild 8: Systemarchitektur ATLAS-Fahrzeuge

Die Kommunikation zwischen High-und-Low-Level-Plattform erfolgt über eine serielle Schnittstelle (UART), wobei zyklisch im 10 ms-Raster ein Speicherabbild u.a. mit folgenden Informationen übertragen wird:

Low- → High-Level-Plattform:

- Zuletzt überfahrene Balisennummer
- Motoransteuerung IST

High- → Low-Level-Plattform:

- Motoransteuerung SOLL
- Weichenansteuerung
- Akustisches/Optisches Signal

Grundlage aller automatisierter Fahrfunktionen bildet unter Anwendung verschiedener Sensortechnologien eine hinreichend detaillierte Kartierung des Fahrzeugumfeldes. Ein solches **Umfeldmodell** beinhaltet eine vollständige Abbildung aller Objekte, Hindernisse und Freiräume. Das Umfeldmodell dient als Datenbasis für die nachfolgenden Algorithmen zur Situationsanalyse und Regelung.

Mit einem einzigen Sensor ist es allerdings unmöglich, eine Umgebung komplett zu erfassen. Im ATLAS-Fahrzeug kommen neben Infrarotsensoren für die einfache Abstandserkennung auch Kamerasysteme für detaillierte Hinderniserkennung zum Einsatz. Des Weiteren sind die ATLAS-Fahrzeuge zur Kommunikation mit anderen Fahrzeugen mit einer WLAN-Funkschnittstelle ausgerüstet. Dadurch ist es möglich, Informationen zur Verkehrssituation, die außerhalb des Sichtbereichs der Board-Sensoren liegen, zu erhalten. Dabei werden keine Unicast-Botschaften versendet, sondern die Kommunikation erfolgt im Broadcast-Betrieb. Dabei versenden die Fahrzeuge mit einem Raster von 1-10 Hz sogenannte Beacons, welche die aktuelle Position, Fahrtrichtung sowie die Fahrzeug-Identifikation beinhalten. Alle Fahrzeuge empfangen dies Beacon-Frames und ergänzen die Inhalte ihres eigenes Umfeldmodells mit den Daten der empfangenen Botschaften.

Analog zu den Umfeldmodellen autonomer Straßenfahrzeuge, welche neben den dynamischen Objekten und Hindernissen auch statische Kartendaten zur Identifikation möglicher Fahrstraßen beinhalten, muss im Umfeldmodell der ATLAS-Fahrzeuge der aktuelle Gleisplan abgebildet sein. Basis dieses Umfeldmodells bildet dabei ein fahrzeugunabhängiges kartesisches Koordinatensystem (Metrisches Weltkoordinatensystem). Da die ATLAS-Fahrzeuge sich auf einer Ebene bewegen, kann die z-Koordinate vernachlässigt werden. Der Koordinatenursprung kann willkürlich festgelegt werden. Hinsichtlich der Auflösung des Umfeldmodells ist ein Kompromiss aus Speichernutzung und notwendiger Genauigkeit zu finden. In der aktuellen Umsetzung wurde eine Auflösung von 10 mm gewählt, was bei einer Ausdehnung der Gleisanlage von 40 m x 20 m und einer Zelltiefe von 8 Bit insgesamt 7,63 MB Speicherplatz bedeuten. Eine jede Zelle mit der Ausdehnung 10 x 10 mm trägt bitcodiert die folgenden statischen Informationen zum Gleisplan:

- Vorhandensein Gleis
- Vorhandensein Balise und Balisen-ID
- Vorhandensein Weiche

Diese statischen Gleisplaninformationen werden in einer ersten Ausbaustufe über eine Konfigurationsdatei in die High-Level-Plattform der ATLAS-Fahrzeuge geladen. In einer zukünftigen Umsetzung sollen die Fahrzeuge den gegebenen Gleisplan selbst erlernen und somit das Umfeldmodell entsprechend ausfüllen. Anhand der vom Fahrzeugcontroller (Low-Level-Plattform) enthaltenen Informationen zu passierten Balisen und der ermittelten Fahrgeschwindigkeit kann die eigene Position (Ego) innerhalb des Umfeldmodells berechnet werden. Des Weiteren werden mittels Bordsensorik sowie mittels der empfangenen Positionsdaten weiterer Fahrzeuge die dynamischen Informationen zum aktuellen Verkehrsszenario in der Gleisanlage komplettiert (vgl. Bild 9). Die eigene sowie die Positionen gegebenenfalls weiterer Fahrzeuge bilden die Grundlage für die High-Level-Fahrfunktionen wie Pfadplanung und Manöverdurchführung.

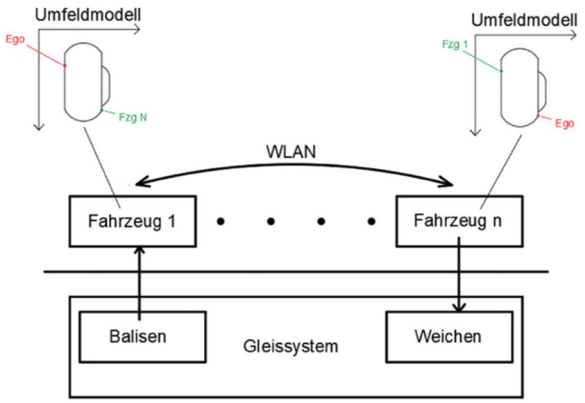


Bild 9: Visualisierung der Umfeldmodelle mit statischen (Gleisplan) und dynamischen (Fahrzeugpositionen) Informationen [17]

## 6. Reale Bahn – Überlegungen und Visionen

Technisch erscheint das Gesamtkonzept des Einzelfahrers ohne weiteres machbar, alle notwendigen technischen Komponenten von der Sensorik über die Antriebskonzepte und die Telematik-Infrastruktur bis hin zum Echtzeit-Management großer Datenbanken existieren. Es fehlt jedoch eine umfassende, mindestens europaweit durchgesetzte Gesamtlösung. – Es ist nicht möglich und auch nicht notwendig, den gegenwärtigen Bahnbetrieb mit seinen Schienenfahrzeugen, der Sicherungstechnik und den Prinzipien der Verkehrsführung schlagartig „abzuschalten“. Über eine Integration neuer Lösungen und die Koexistenz von herkömmlichen Zügen und Einzelfahrern muss intensiv nachgedacht werden.

Die Organisationsstruktur der Bahn könnte sich an die im Straßenverkehr anlehnen. Das bedeutet ein öffentlich unterhaltenes Schienennetz einschließlich der notwendigen Telematik-Infrastruktur sowie ein vorwiegend privat bewirtschaftetes rollendes Material für den Personen- und Güterverkehr. Es ließe sich ein präzises und gerechtes Abrechnungssystem einführen, da die jeweilige Nutzung des Schienennetzes detailliert erfassbar ist.

Es ist notwendig, eine grundlegend neue Sicherheitsphilosophie für den Schienenverkehr zu entwickeln. Eine wesentliche Komponente sollte die Kamera-Komplettüberwachung der Strecken mit Bildauswertung werden. Dabei muss ein Nebeneinander von „klassischem Zugverkehr“ und Einzelfahrern für viele Jahre möglich sein.

Die „letzten Meter“ von der Schiene bis zum Ziel müssen effizient überbrückbar sein. Entweder kann der Einzelfahrer selbständig die Schiene verlassen, oder es gibt ein Shuttle-System zum Kurzstrecken-Transport der Schienenfahrzeuge auf der Straße. Bahnhöfe sind nicht notwendig, sie reduzieren sich auf diese Schnittstellen zwischen Schiene und Straße.

Es wäre intensiv darüber nachzudenken, ob das Schienennetz neben dem Transport nicht auch andere Funktionen übernehmen kann, etwa:

- Schienennetz als komplexes Logistikzentrum mit Lagerhaltung und exakter „just-in-time“-Anlieferung (genauer als auf der Straße); damit verbunden wäre eine vernünftige Nutzung der heute praktisch brachliegenden Rangier- und Güterbahnhöfe und der Nebenstrecken
- Produktion auf der Schiene sowie Firmen, die flexibel ihren Standort wechseln und zu den Aufträgen oder auch zu den Arbeitskräften fahren (Baufirmen, „fahrender Schlachthof“ statt tagelanger Tiertransport ...)
- Urlaub, Ausflüge (statt Bus), Schulfahrten mit rollender Jugendherberge und mitgeführtem Klassenraum, Ausstellungen, mobile Tagungen, rollende Impfzentren ...

Die Bahn hat das Potential auf einen wesentlich größeren Anteil am Personen- und insbesondere am Güterverkehr, wenn die „Erblasten“ des 19. Jahrhunderts überwunden werden und ein Paradigmenwechsel stattfindet. Interessant ist auch die weitere Nutzung des ausgedünnten und verfallenden Nebenstreckennetzes, da die Anforderungen an die Strecke bei wesentlich geringeren Achslasten viel unkritischer sind.

Vielleicht können die dargestellten Gedanken zu einer Erneuerung der Bahn beitragen, und die ATLAS-Anlage kann dazu nicht nur technisch, sondern auch mit ihrem werbewirksamen Spielwert ihren Teil liefern.

## Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei den beteiligten Studentinnen und Studenten, die mit ihren Abschlussarbeiten dieses Projekt vorangebracht haben und weiter voranbringen, auch unter schwierigen Corona-Bedingungen.

## Literaturverzeichnis

[1] R.H. Rauschenberg: Potentiale für die Verringerung der externen Effekte des Verkehrssektors durch einen dezentralisierten und automatisierten Gütertransport der Bahn; Goethe-Universität Frankfurt/Main; Dissertation 2006.

[2] C. Schulz: ATLAS-Demonstrationsanlage für autonomes Fahren auf der Schiene; Scientific Reports 3,2018 ISSN 1437-7624 S. 192-195

[3] H. Schilling: Trainguard – ETCS-Lösungen für Europa; Vortrag auf der 18. IWKM der Hochschule Mittweida am 10.11.2006, Tagungsgruppe Automatisiertes Fahren auf der Schiene.

[4] ADAC-Motorwelt 8/2001

[5] T. Krauß: Versuchs- und Demonstrationsanlage für Projekt ATLAS; Hochschule Mittweida, Fachbereich Informationstechnik & Elektrotechnik; Diplomarbeit 2006

[6] R. Schneider: Komponenten für Projekt ATLAS; Hochschule Mittweida, Fachbereich Maschinenbau, Diplomarbeit 2007

[7] Firmen-WEB-Seite zu LGB unter www.lgb.de

[8] Z. Hou: Gleisaufbau und IR-Verkabelung der ATLAS-Gleisanlage; Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften; Bachelorarbeit 2020

[9] X. Ma: Lokalisierung von ATLAS-Fahrzeugen über Infrarot-Balisen; Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften; Bachelorarbeit 2019

[10] Vishay: TSOP22.., TSOP24.., TSOP48..;TSOP44 IR Receiver Modules for Remote Control Systems; Document Number 91000; 02-Oct-12

[11] Y. Wang: Prototyp für ATLAS-Weichen-ansteuerung über Infrarot-Schnittstelle; Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften; Bachelorarbeit 2019

[12] Diodes Incorporated: ZXBM5210 Reversible DC Motor Drive with Speed Control; Document Number DS36765 Rev. 1-2; December 2013

[13] X. He: Gleisaufbau und Balisen-Verdrahtung der ATLAS-Gleisanlage; Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften; Bachelorarbeit 2020

[14] T. Shen: Funktionsmuster für ATLAS-Weichen-ansteuerung über Infrarot-Schnittstelle; Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften; Bachelorarbeit 2018

[15] Mitsubishi Electric Corporation: User’s Manual M16C/62 Group Rev.C2; First Edition July 2000

[16] T. Mahfoud: App zur Ansteuerung von ATLAS-Fahrzeugen über Bluetooth; Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften; Masterarbeit 2020

[17] Y. Xu: Spezifikation und Implementierung eines Fahrzeugumfeldmodells im Rahmen des ATLAS-Projektes; Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften; Bachelorarbeit 2019

[18] K. Jbaili: Implementing and evaluating a tracking-by-detection algorithm for a camera monitoring system of ATLAS; Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften; Masterarbeit 2020