

Einsatz von Virtual Reality zur Untersuchung realer und simulierter mechatronischer Systeme am Beispiel der Neuen Bahntechnik Paderborn

Dr.-Ing. Rafael Radkowski

Heinz-Nixdorf-Institut
Rechnerintegrierte Produktion
Fürstenalle 11
33102 Paderborn

Tel. +49 5251 606 228

Fax +49 5251 606 268

Email rafael.radkowski@hni.upb.de

Dipl.-Ing. Christian Henke

Universität Paderborn
Fachgebiet Leistungselektronik und
Elektrische Antriebstechnik
Pohlweg 98
33098 Paderborn

Tel. +49 5251 60 5482

Fax +49 5251 60 5483

Email henke@lea.upb.de

1. Einleitung

An der Universität Paderborn wird in der Arbeitsgruppe Neue Bahntechnik Paderborn (NBP) ein neuartiges Schienenverkehrssystem mit Namen RailCab entwickelt. Kern des Konzeptes sind kleine Fahrzeuge, die so genannten RailCabs. Die RailCabs fahren autonom im Streckennetz, sie werden bei Bedarf angefordert und steuern ihr Ziel ohne Zwischenstopp an.

Der Antrieb erfolgt mittels eines Wandermagnetfeldes berührungslos über einen linearen Direktantrieb. Der Linearantrieb kann in das bestehende Schienensystem integriert werden, somit bleibt die bestehende Infrastruktur weiterhin nutzbar.

Die einzelnen Fahrzeuge schließen sich während der Fahrt zu ungekoppelten Konvois zusammen. Dadurch wird der Streckendurchsatz erhöht und der Energiebedarf verringert; die Fahrzeuge nutzen den Windschatten des vorherfahrenden Fahrzeuges. Die Energieeinsparung wird umso größer, je länger der Konvoi ist.

[Trä06], [Lüc00]

Um das Bahnkonzept unter realitätsnahen Bedingungen zu untersuchen, wurde an der Universität Paderborn eine Teststrecke im Maßstab 1:2,5 gebaut (Bild 1), deren Länge beträgt ca. 530 Meter.



Bild 1: Ausschnitt der Teststrecke in Paderborn mit zwei Versuchsfahrzeugen

Für Tests stehen zwei Versuchsfahrzeuge zur Verfügung. Mit den Versuchsfahrzeugen kann beispielsweise die Regelung des linearen Direktantriebs erprobt werden, sowie die Spurführung und die Abstandsregelung zwischen zwei Railcab's. [Trä06], [Lüc00]

Wenn ein Konvoi aus mehr als zwei RailCabs gebildet werden soll, dann kann er heute nur simuliert werden. Doch vor allem lange Konvois sind ein wesentlicher Bestandteil des RailCab-Konzeptes. Deshalb muss es unter realistischen Bedingungen überprüft werden. Simulationen sind ein erster Schritt, jedoch müssen Umwelteinflüsse und Störgrößen exakt nachgebildet werden.

In diesem Beitrag wird eine Konvoisimulation vorgestellt, in der reale und simulierte Versuchsfahrzeuge in einer Anwendung kombiniert und in einer Virtual Reality (VR)-Umgebung visualisiert werden: Der Konvoi besteht dabei aus fünf RailCab's. Das erste RailCab ist real, die anderen vier werden simuliert. Das reale Versuchsfahrzeug überträgt Daten wie Position und Geschwindigkeit an die VR-Umgebung und die Simulation. Die Simulation berechnet aufgrund der Daten die Position und Geschwindigkeit der vier simulierten Railcab's. Deren Position und Geschwindigkeit wird ebenfalls an die VR-Umgebung übertragen. In der VR-Umgebung ist dann der gesamte Konvoi zu sehen.

2. Konvoi-Simulation

Das Konzept für den autonomen Konvoibetrieb sieht vor, dass die RailCabs in einem Abstand von unter einem Meter hintereinander fahren. Je kleiner der Abstand, umso mehr Energie wird gespart und umso mehr RailCabs können die Strecke passieren. Um dies zu ermöglichen müssen Positions- und Geschwindigkeitsinformationen zwischen den Fahrzeugen ausgetauscht werden.

Vorraussetzung für den autonomen Konvoibetrieb ist eine intelligente Regelung. Basis hierfür ist eine Abstandsregelung. Dabei berechnet ein RailCab seine eigene Soll-Position und Soll-Geschwindigkeit auf Basis der Position und Geschwindigkeit des jeweils vorausfahrenden RailCabs.

Im Detail erfolgen folgende Berechnungen: Ein RailCab berechnet seine Soll-Position s^* im Konvoi anhand der Position s_f des vorausfahrenden RailCabs und einem Soll-Abstand d^* :

$$s^* = s_f - d^* \quad (1)$$

Um Kollisionen zwischen den RailCabs zu vermeiden, setzt sich der Soll-Abstand d^* aus einem Sicherheitsabstand d_{save} und einem erforderlichen Bremsweg d_{brake} zusammen:

$$d^* = d_{save} - d_{brake} \quad (2)$$

Der erforderliche Bremsweg d_{brake} resultiert wiederum aus der Differenz des Bremsweges zum unmittelbar vorausfahrenden Fahrzeugs.

$$d_{brake} = d_{r,brake} - d_{f,brake} \quad (3)$$

Die Soll-Position s^* wird an die Positionsregelung des Fahrzeugs übergeben. Die Kolonnenstabilität wird gewährleistet, indem die Soll-Geschwindigkeit des Führungsfahrzeugs der gesamten Fahrzeugkolonne in die Vorsteuerung der Geschwindigkeitsregelung aller nachfolgenden Fahrzeuge eingeht.

Diese Maßnahme ist erforderlich, wenn mehr als zwei RailCabs im Konvoi fahren [HFB06], [HVB+05].

Zur Untersuchung des Konvoi-Verhaltens unter realen Bedingungen ist ein Konvoi aus insgesamt fünf RailCabs erstellt worden (Bild 2). Das erste RailCab ist das reale Versuchsfahrzeug. Es ist das Führungs-RailCab und bestimmt dadurch die Geschwindigkeit des gesamten Konvois. Diese Soll-Geschwindigkeit wird an alle anderen RailCabs des Konvois übertragen. Die vier Folgefahrzeuge werden simuliert. Für die Simulation der RailCabs ist ein Matlab/Simulink-Modell erstellt worden. Bei dem Fahrzeugmodell handelt es sich um ein Massenpunkt-Modell (PT₁-Glieder). Das

Modell berücksichtigt auch Umwelteinflüsse wie den Wind und Luftwiderstand sowie die Steigung der Teststrecke. Ebenso können unterschiedliche Fahrzeugmassen bei der Bremswegberechnung berücksichtigt werden. [HFB06], [HVB+05]

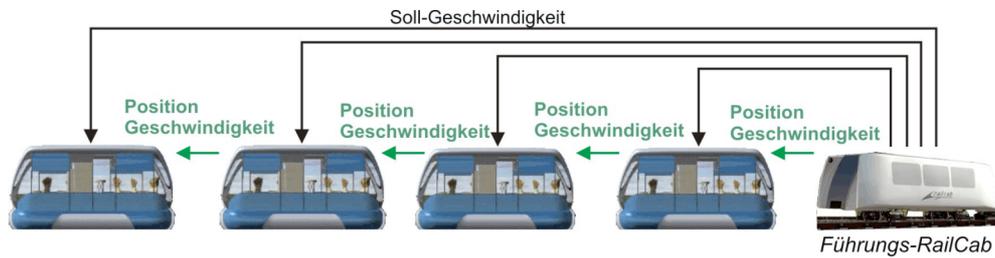


Bild 2: Simulation des Konvois

Der Konvoi ist skalierbar. Je nach Untersuchungsaspekt kann der Konvoi aus bis zu zwei realen Versuchsfahrzeugen und einer beliebigen Anzahl simulierter Rail-Cabs aufgebaut werden.

3. Virtual Reality-Anwendung

In der Virtual Reality-Umgebung ist die Versuchsanlage der Neuen Bahntechnik Paderborn realistisch nachgebildet worden. Der Streckenverlauf und die Steigung der Strecke entsprechen dem realen Vorbild. Das Versuchsfahrzeug wurde ebenfalls realistisch nachgebildet. Es hat eine Länge von 3,4 Meter, eine Höhe von 1,3 Meter und eine Breite von 1,2 Meter.

Auf der Teststrecke wird die gesamte Konvoi-Simulation in Echtzeit visualisiert. Das Prinzip ist in Bild 3 dargestellt.

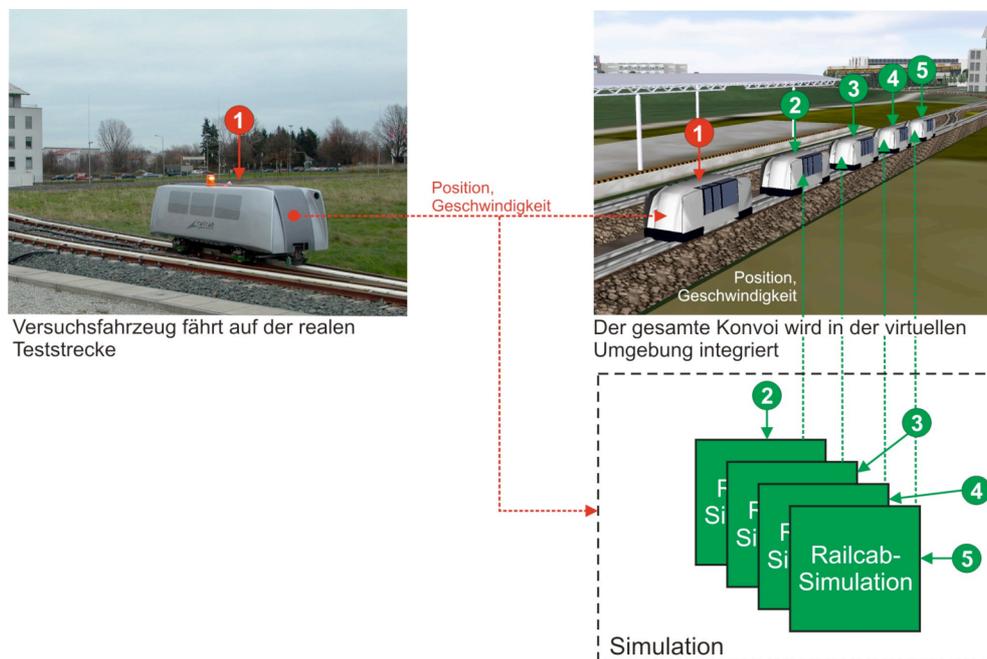


Bild 3: Visualisierung eines Konvois in einer VR-Umgebung. Der Konvoi besteht aus vier simulierten und einem realen RailCab

Links im Bild ist das reale Versuchsfahrzeug zu sehen. Es fährt auf der Teststrecke. Während der Versuchsfahrt überträgt es seine aktuelle Geschwindigkeit und Position an die VR-Umgebung und die Simulation. In der Simulation wird die

Position und Geschwindigkeit der vier folgenden Versuchsfahrzeuge berechnet und ebenfalls an die VR-Umgebung übermittelt. In der VR-Umgebung ist der gesamte Konvoi visualisiert. Das erste virtuelle Fahrzeugmodell repräsentiert das reale Versuchsfahrzeug. Die anderen vier virtuellen Fahrzeugmodelle repräsentieren die simulierten Versuchsfahrzeuge.

Zur Positionierung der virtuellen Fahrzeugmodelle auf der Strecke werden lediglich die übertragenen Positionen verwendet. In der VR-Umgebung ist ein Streckenmodell hinterlegt, das der realen Strecke entspricht. Die Versuchsfahrzeuge werden auf die letzte übertragene Position platziert. Versuchsfahrzeug und Simulation übertragen die Daten mit einer Frequenz von 100 Hz, die VR-Anwendung rendert die Szene mit 60Hz. Die Bewegung der Versuchsfahrzeuge entsteht einzig durch die schnelle Übertragung der Daten. Die Geschwindigkeit jedes Versuchsfahrzeuges wird gespeichert.

Die Kommunikation zwischen Versuchsfahrzeug und VR-Umgebung erfolgt über WLAN (UDP/IP). Je nach Wetterbedingungen und Tageszeit kann die WLAN-Verbindung unterbrochen werden. Für diesen Fall wird die gespeicherte Geschwindigkeit benötigt: Mit Hilfe der Geschwindigkeit und der letzten Position kann die Bewegung der Versuchsfahrzeuge vorhergesagt werden. Da die Vorhersage für kurze Zeit korrekt ist, wird der Verbindungsausfall somit kompensiert.

Die Kombination der simulierten und realen RailCabs hat mehrere Vorteile: Zum einen können in der VR-Umgebung das Zusammenspiel des realen Versuchsfahrzeugs und der simulierten RailCabs untersucht werden. Die Simulation erhält Vorgaben des realen RailCabs. Dadurch können die Konvoi-Regelstrategien unter realen Bedingungen getestet werden. So kann es z.B. vorkommen, dass das reale Fahrzeug durch einen plötzlichen Windstoß von vorne abgebremst wird. Andererseits können Stör- oder Notfälle auftreten oder auch bewusst herbeigeführt werden und somit auch die Beherrschbarkeit derartiger Situationen durch geeignete Strategien erprobt werden. Kommt es bei den Tests zu einer Kollision, dann nur virtuell und nicht real. Kollisionen lassen sich zuverlässig detektieren, da die Geometrie der virtuellen RailCabs der Geometrie der realen RailCabs entspricht.

Wenn beide realen Versuchsfahrzeuge auf der Teststrecke fahren, dann fahren sie derzeit noch mit einem minimalen Sicherheitsabstand von 20 Metern. Dieser Abstand ist notwendig, damit die Fahrzeuge im Notfall ohne Kollision zum Stillstand kommen. Um Energie zu sparen ist aber ein Abstand unter einem Meter erforderlich. Dieser Sicherheitsabstand wird in der VR-Umgebung subtrahiert, die Fahrzeuge werden hier mit dem Abstand visualisiert, der von der Abstandsregelung berechnet worden ist. Auf diese Weise können die Regler der Fahrzeuge und die Vorgaben des Führungs-RailCabs gefahrlos getestet werden. Erweisen sich die in der VR-Umgebung getesteten Regelstrategien als sicher, so kommen diese auch in rein realen Fahrzeugkolonnen zum Einsatz. Auf diese Weise soll der derzeitige Minimalabstand von 20 Metern kontinuierlich auf einen Abstand von unter einem Meter reduziert werden.

Neben der Visualisierung des Konvois können noch zusätzliche Informationen dargestellt werden. So kann z.B. die Geschwindigkeit, der Bremsweg oder die Güte der Regelung direkt am Versuchsfahrzeug visualisiert werden. Dadurch können die Zusammenhänge besser dargestellt werden, was eine interaktive Untersuchung der Konvoi-Regelung erleichtert.

4. Ausblick

In Zukunft wird die Virtual Reality-Anwendung durch eine Augmented Reality-Anwendung ersetzt. Mit Hilfe der Technologie Augmented Reality sollen die RailCabs direkt auf der Versuchsstrecke visualisiert werden (Bild 4) Zusammen mit den realen RailCabs sollen sie dann einen Konvoi bilden. Zusätzlich zur Visualisierung

der RailCabs sollen auch noch weitere Daten dargestellt werden, die den aktuellen Zustand und das geplante Verhalten darstellen.

Momentan sind zwei Lösungen geplant: Eine mobile Lösung mit Head Mounted Display. Der Anwender soll sich mit dieser Lösung über die gesamte Teststrecke bewegen können. Neben der mobilen Lösung ist eine stationäre Lösung geplant. Dabei soll ein großes Display verwendet werden, das auf die Strecke gerichtet ist. Auf der Rückseite des Displays ist eine Kamera montiert. Der Aufbau soll wie ein großes Fenster wirken, durch das auf die Versuchsstrecke geblickt werden kann. Vorteil dieser Lösung ist, dass sie von mehr als einem Anwender genutzt werden kann.

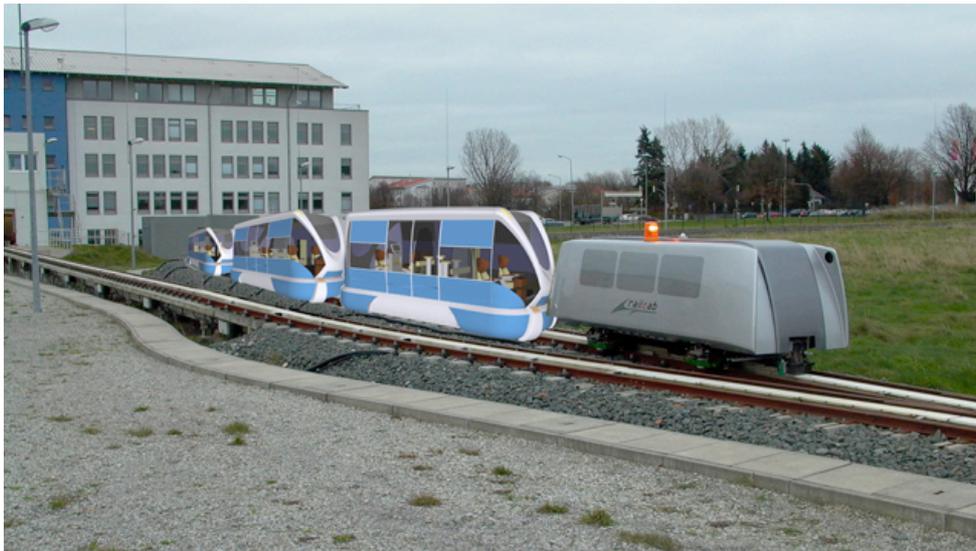


Bild 4: Anwendung der Augmented Reality-Anwendung zur Darstellung eines Konvois auf der NBP-Versuchsstrecke

5. Literatur

- [Trä06] Trächtler, A.: RailCab – mit innovativer Mechatronik zum Schienenverkehrssystem der Zukunft. In: VDE (Hrsg.): VDE Kongress, Aachen, 2006
- [Lüc00] Lückel, J.: Systemkonzept Neue Bahntechnik Paderborn. In: Gausemeier, J.; Lückel, J.: 4. Internationales Heinz Nixdorf Symposium - Auf dem Weg zu den Produkten für die Märkte von morgen, HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn, 2000
- [HFB06] Henke, C.; Fröhleke, N.; Böcker, J.: Advanced Convoy Control Strategy for Autonomously Driven Railway Vehicles. In: 9th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Toronto, Canada, 2006
- [HVB+05] Henke, C.; Vöcking, H.; Böcker, J.; Fröhleke, N.; Trächtler, A.: Convoy Operation of Linear Motor Driven Railway Vehicles. In: 5th International Symposium on Linear Drivers for Industry Applications, Hyogo, Japan, 2005