

Sicherer Schienenverkehr mit GALILEO

Thomas Strang⁽¹⁾, Michael Meyer zu Hörste⁽²⁾, Xiaogang Gu⁽³⁾

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

⁽¹⁾ *Institut für Kommunikation und Navigation*

⁽²⁾ *Institut für Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung*

Thomas.Strang@dlr.de

Michael.Meyerzuhoerste@dlr.de

⁽³⁾ *Bombardier Transportation RailControlSolutions*

Xiaogang.Gu@de.transport.bombardier.com

1. EINFÜHRUNG

Mit GALILEO entsteht ein globales Satelliten-Navigationssystem, das aufgrund seiner Eigenschaften neben den bisher bekannten klassischen Ortungs- und Navigationsanwendungen auch vielfältige erweiterte Verkehrsanwendungen und Dienste ermöglicht [Gisz05]. Hierzu zählt auch eine Modernisierung der Zugsicherungstechnik. Denn auch heute stoßen immer noch Züge mit Zügen, Baufahrzeugen, Arbeitergruppen oder anderen Verkehrsteilnehmern zusammen, obwohl dies durch eine umfangreiche und aufwändige Technik wie einer nahezu flächendeckenden Ausrüstung der Gleise mit Achszählern und Gleisstromkreisen vermieden werden soll. Erfahrungen aus der Luftfahrt mit dem *Traffic Alert and Collision Avoidance System (TCAS)*¹ [ADS-B] oder dem neuen maritimen *Automatic Identification System (AIS)* [USCG, Mak] zeigen, dass das Problem der Kollisionsvermeidung auch durch weitgehend infrastrukturunabhängige Systeme deutlich verbessert werden kann.

In diesem Beitrag wird dazu ein konkreter, infrastrukturunabhängiger Ansatz vorgestellt, bei dem unter Verwendung von GALILEO Informationen über Position, Geschwindigkeit und andere wichtige Werte im Rahmen einer Zug-Zug-Kommunikation ausgetauscht werden. Diese Informationen können von anderen Bahnfahrzeugen in der Region ausgewertet werden und von der Information über kritische Zustände (Traffic Alert - TA), über Lösungsvorschläge (Resolution Advisory - RA) bis hin zu steuernden Eingriffen (i.d.R. Bremsen) reichen. Das System wird als „Railway Collision Avoidance System - RCAS“ bezeichnet.

1.1. Heutige Situation der Zugsicherungstechnik

Heute erfolgt die Einstellung und Zuordnung von so genannten Fahrstraßen zu einem exakt definierten Zug mit Hilfe von Stellwerken. Hierbei werden alle Gleisfeldelemente (Weichen, etc.) in die richtige Lage gebracht und verschlossen. Dann werden die Signale auf „Fahrt“ gestellt. Die Züge sind mit einem Sicherungssystem ausgerüstet, das bei einer Vorbeifahrt an Signalen, die nicht auf „Fahrt“ stehen, automatisch eine Bremsung auslösen. Die Sicherheit des Verfahrens hängt sowohl von der korrekten Arbeitsweise des Stellwerks, als auch des zugseitigen Sicherungssystems ab und ist leider nicht perfekt: Neben menschlichem Versagen [Bay05] resultieren die viele Unglücke und Katastrophen [Free05] aus mehreren, zum Teil gravierenden Nachteilen der heutigen Situation der Zugsicherungstechnik in diesem Bereich:

- Fahrzeuge oder Züge, die nicht mit dem zugseitigen Sicherungssystem ausgerüstet sind, können an Signalen ungehindert vorbeifahren. Solche Fahrzeuge sind z. B. Baufahrzeuge, ausländische Fahrzeuge oder auch Waggongruppen.
- Im Fall von Störungen im Stellwerk oder im fahrzeugseitigen Sicherungssystem findet keine Überwachung statt.
- Bestimmte Bereiche des Eisenbahnnetzes in Deutschland und Europa sind – aufgrund der geringen Verkehrsdichte – nicht mit Stellwerks- und Übertragungstechnik für die fahrzeugseitige Sicherungstechnik ausgerüstet. Die Fahrzeuge die ausschließlich diese Bereiche befahren, sind ebenfalls nicht mit dem Sicherungssystem ausgerüstet.
- Die infrastrukturabhängige Verbauung von Signalen ist teuer und unflexibel. Die Position der Signale, gekoppelt mit den Zugsicherungselementen, die bei Vorbeifahrt eines Zuges ggf. dessen Bremsung veranlassen, ist fest. Die temporäre Montage von Signal- und Zugsicherungselementen ist aufgrund des Aufwands sehr selten.

Aus den genannten Gründen kommt es immer wieder zu Zusammenstößen von beweglichen Einheiten auf den Gleisen (Züge, Baufahrzeuge, Zweibegebaumaschinen, etc.). Ebenso kommt es häufig zu einem Zusammenprall zwischen einem Zug und einem Straßenfahrzeug oder gar Fußgängern

¹ Auch in der Luftfahrt wird an der nächsten Generation von Kollisionswarnsystemen gearbeitet [ADS-B]. Das Prinzip des sogenannten Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B) ist dem des maritimen AIS recht ähnlich: In regelmäßigen Abständen wird die per GPS ermittelte aktuelle Position per Broadcast abgestrahlt.

auf einem Bahnübergang. Dies kann seine Ursache in einer Störung des Bahnübergangs oder in einem Fehlverhalten des Straßenverkehrsteilnehmers haben. Typische Unfallursachen sind, dass ein Straßenfahrzeug zwischen Vollschranken eingeschlossen wird und diesen Bereich nicht mehr verlassen kann oder dass Straßenverkehrsteilnehmer regelwidrig Halbschranken umfahren. Die technische Überwachung des Raumes zwischen den Schranken (sog. Freiraumüberwachung) weist zwei Nachteile auf: Zum einen kann ein Zug über ein Fahrzeug, das nach dem Schließen des Bahnübergangs im Freiraum erkannt wird, nicht mehr gewarnt oder gestoppt werden. Zum anderen ist eine sichere Erkennung eines Hindernisses noch immer nicht mit der erforderlichen Verlässlichkeit möglich. So kann ein Fahrzeug möglicherweise den Freiraum vor dem Herannahen des Zugs bereits wieder verlassen haben.

2. ANSATZ

Die Idee des hier vorgestellten Verfahrens ist es, analog zum TCAS/ADS-B oder dem maritimen AIS Informationen über Position, Geschwindigkeitsvektor und andere wichtige Werte aus bestimmten bewegten Einheiten (Züge, Baufahrzeuge, Zweiwegebaumaschinen, etc.) oder in reduziertem Umfang aus bestimmten Infrastruktureinheiten abzustrahlen. Die Züge bestimmen ihre Position und ihren Bewegungsvektor und übertragen ihn direkt an alle Züge oder Fahrzeuge in einem bestimmten Bereich, der im Wesentlichen durch die Reichweite der RCAS-Sendeeinheiten limitiert ist. Die empfangenden Züge können nun per Vergleich der Bewegungsvektoren erkennen, ob die Gefahr einer Kollision vorliegt. In Abbildung 1 ist das grundsätzliche Zusammenspiel der verschiedenen RCAS-Schlüsselkomponenten skizziert.

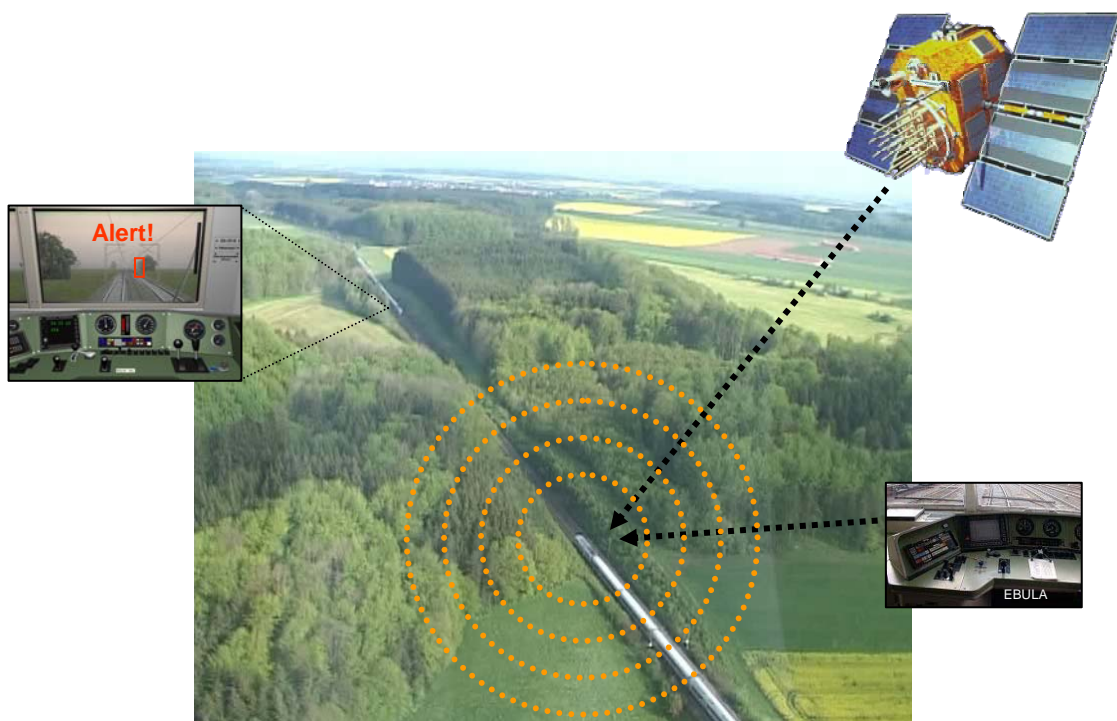


Abbildung 1: RCAS-Komponenten im Zusammenspiel

Bei dem System sind zwei Aspekte von besonderem Interesse, die sich nicht aus der Analogie zu TCAS/ADS-B und maritimem AIS ableiten lassen: Zum einen schränkt die mechanische Spurführung die Eingriffsmöglichkeiten der Triebfahrzeugführer (Tf) drastisch ein. Dieser kann im Prinzip nur seinen Zug in einer Dimension² bremsen oder beschleunigen. Zum anderen erfolgt die Einstellung der Fahrstraßen durch den Fahrdienstleiter (Fdl) im Stellwerk, so dass bestimmte Konflikt-Warnungen sowohl an den Fdl als auch an den Tf ausgegeben werden müssen.

Darüber hinaus muss beachtet werden, dass die Bewegungsvektoren von Bahnfahrzeugen, vollkommen regulär, (nahezu) auf einander zeigen dürfen. Beispielsweise erfordern das Kuppeln von Halbzügen sowie das Nachschieben solche „Konflikte“. Ebenso ist beim „fliegenden“ Überholen und Ausweichen auf Hochgeschwindigkeitsstrecken eine solche Situation zulässig. Selbst die Bewegungsvektoren von sich begegnenden Zügen weisen bei einer Relativgeschwindigkeit von 300km/h nur 3m aneinander vorbei, in Kurven z. T. noch weniger. Auf Grund des sehr deterministischen Fahrverhaltens von Zügen sind diese Situationen alle erkennbar und klassifizierbar, so dass ein RCAS zur Warnung von Tf und Fdl vorstellbar ist. Wenn eine echte Kollisionssituation auftritt, hat der Tf nach der Erkennung der Kollision nur noch die Möglichkeit eine Bremsung auszulösen. Der Fdl hat im Stellwerk auf Grund der Weicheneinstellung auf Seiten der Infrastruktur weitere Lösungsmöglichkeiten, siehe Abschnitt 2.5.

² Diese Dimension folgt dem Gleisverlauf und ist keine kartesische Koordinate.

Zur Bestimmung der Position kann insbesondere das Satellitennavigationssystem GALILEO verwendet werden, ggf. ergänzt um lokale Elemente (z.B. in Tunneln) oder differentielltem Overlay-System, um die Genauigkeit der Positionsinformation bis in den cm-Bereich zu verbessern. Die hochgenaue Positionsinformation ist Voraussetzung für eine gleisspurselbste Auslegung des Verfahrens. Bei Überfahrt gleisseitig verbauter Balisen³ ergibt sich eine weitere Quelle zur Gleisspur-Identifikation, so dass bei kombinierter Betrachtung das Sicherheitslevel im Vergleich zur aktuellen Situation der Zugsicherungstechnik erhöht wird.

In der Auswertung der Bewegungsvektoren liegt eine der wesentlichen Herausforderungen des Verfahrens. Die Bewegungsvektoren dürfen wie erwähnt regulär aufeinander zeigen (z.B. Kuppeln, Nachschieben) bzw. fast aufeinander zeigen (z.B. gegenläufige Züge auf parallelen Gleisspuren). Hier liegt ein bedeutender Unterschied zum TCAS/ADS-B, wo die Flugsicherung grundsätzlich dafür zuständig ist, Flugzeuge 3-dimensional zu staffeln. Die Identifikation der Gleisspuren des Verkehrs in der Umgebung eines Zuges erfolgt in der RCAS-Empfangeinheit im Zug einerseits über die von den jeweiligen RCAS-Sendeeinheiten ausgestrahlten präzisen Positionsinformationen per Mapping auf eine Streckenkarte. Diese topologischen Streckenkarten sind in allen ETCS⁴-ausgerüsteten Zügen vorhanden. Andererseits kann die Korrektheit der ermittelten Gleisspuren anhand von Gleisspurkennungen überprüft werden, sofern diese von den jeweiligen RCAS-Sendeeinheiten mit übermittelt wurden (siehe auch Abbildung 2).

Neben der Positionsinformation und der aktuellen Geschwindigkeit übermittelt eine RCAS-Sendeeinheit auch einen topologischen Streckenvektor (geplanter Streckenverlauf). Im *elektronischen Buchfahrplan mit Verzeichnis der Langsamfahrstellen – EBULA* liegt die gesamte Strecke des Zuges in nicht gesicherter Form vor. Eine „gesicherte“ Aussage liegt zugeseitig für die nächsten 5-30 km vor. Hat eine RCAS-Empfangeinheit eines anderen Zuges ebenfalls Kenntnis über den topologischen Streckenvektor dieses Zuges, so kann aus der Überlagerung beider Vektoren wiederum ein potentieller Konflikt abgeleitet werden. Stimmen gesicherter/geplanter topologischer Streckenverlauf und der per Map-Matching ermittelter Position der RCAS-Sendeeinheit nicht überein, kann dies bereits als Warnmeldung an andere RCAS-Empfänger übermittelt werden.

RCAS kann auch ohne Unterstützung einer digitalen Karte angewandt werden. In diesem Fall lässt die Verlässlichkeit der Aussage mit dem Abstand und der Geschwindigkeit der beiden Züge deutlich nach. Eine Bestimmung der Querschleunigung z. B. durch eine im RCAS integrierte Inertialplattform erlaubt die Abschätzung von Kurvenverläufen. Bei lang gestreckten Kurven oder S-Kurven wird dennoch nur eine Aussage mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit möglich sein. Die Ergänzung einer digitalen Karte erlaubt eine gleisselektive, d.h. nach linken oder rechten Gleis differenzierten, Aussage und damit eine deutlich genauere Erkennung von Kollisionen bzw. Ausschluss von Begegnungsfahrten, die außer bei LÜ Fahrten keine Gefahr darstellen.

³ Eine *Balise* ist ein passiver Transponder, der bei der Überfahrt durch einen Zug angeregt wird und anschließend Nachrichten an den Zug sendet [MzHD4]. Man unterscheidet generell zwei Typen: *Festdatenbalisen*, die einen festen Datensatz übertragen und *transparente* bzw. *schaltbare Balisen*, die an eine Signalquelle gekoppelt sind und in Abhängigkeit vom anliegenden Signal verschiedene Datensätze übertragen können. Balisen werden u.a. zur Übermittlung einer Identität zur topologischen Ortsreferenzierung („elektronischer Kilometerstein“) verwendet, können aber auch umfangreichere Nachrichten übermitteln.

⁴ Das neue European Train Control System (ETCS) im European Rail Transport Management System (ERTMS) bildet die technische Grundlage für den interoperablen Bahnbetrieb in Europa.

Im Folgenden werden einige Merkmale des Verfahrens detaillierter vorgestellt:

2.1. Bahnübergänge

Ein erheblicher Anteil an allen Kollisionen sind Zusammenpralle mit Kraftfahrzeugen auf Bahnübergängen ohne Beschränkung oder mit Halbschranken. Ein Merkmal Verfahrens besteht darin, ein System zur Überwachung des Freiraums zu verwenden, das eine irreguläre Belegung des Gefahrenraumes erkennt (per Magnetfeld, Infrarot, Video, Gewicht, etc.) Dieses kann mit einer RCAS-Sendeeinheit gekoppelt werden. Hier ist nicht der Bewegungsvektor die relevante Information, sondern der Status des Bahnübergangs (BÜ), der ebenfalls mit übertragen wird:

- BÜ gesichert und Freiraum frei => Fahrt
- BÜ gesichert und Freiraum durch sich bewegendes Objekt belegt => Warnung
- BÜ gesichert und Freiraum durch stehendes Objekt belegt => Gefahr
- BÜ Status unsicher

In der Anwendung des RCAS kann nun erkannt werden, ob sich ein Straßen-Fahrzeug auf dem Bahnübergang befindet, ob es sich bewegt und den Gefahrenraum verlassen wird und eine entsprechende Warnung oder auch Entwarnung an den Lokführer gesendet werden.

2.2. Lademaßüberschreitungen

Ein weiterer Einsatz von RCAS besteht in der technischen Sicherung von Fahrten mit so genannten Lademaßüberschreitungen (LÜ). Man unterscheidet nach [DB408] vier Typen:

- A: LÜ ohne Einschränkung auf dem Nachbargleis, Lademaßüberschreitung nach oben.
- B: Normale Fahrt oder LÜ-Fahrt A oder B auf dem Nachbargleis möglich. Begegnungsverbot mit LÜ C oder D.
- C: Normale Fahrt oder LÜ-Fahrt A auf dem Nachbargleis möglich. Begegnungsverbot mit LÜ B, C oder D.
- D: keine Fahrt auf dem Nachbargleis möglich. Sperrung erforderlich.

Ein Zug mit RCAS-Sendeeinheit kann mit den übertragenen Daten ankündigen, dass sich eine LÜ-Fahrt nähert und durch Angabe seines LÜ-Typs einen – u. U. auch regelwidrig gefährdeten – Gegenverkehr warnen.

2.3. Güterüberwachung

Es gibt weitere, über die LÜ hinausgehende Gefahren, die von der Ladung von Zügen ausgehen kann. Hierzu zählen z.B. bestimmte chemische Stoffe, die nicht nebeneinander gelagert und/oder transportiert werden dürfen, da sie miteinander reagieren. In [Stroh04] wurde ein System vorgestellt, das solche Situationen mit Hilfe von Shortrange-RF-Controllern und einer regelbasierten Wissensbasis erkennt. RCAS geht einen Schritt weiter und kann Gefahrgutkennungen aus einer Taxonomie mit aussenden. Hierdurch sind andere Züge mit „inkompatiblen“ Gefahrgütern in der Umgebung, aber noch in sicherer Entfernung, über die potentielle Gefährdung informiert und in der Lage, geeignete Maßnahmen zu ergreifen.

2.4. Sensoren

Mit RCAS können neben diesen „harten“ Kollisionsgefahren auch „weiche“ Kollisionsgefahren gemeldet werden: Beispielsweise können Überflutungen oder leichte Lawinen erkannt werden und nähernde Züge zu einer Geschwindigkeitsreduzierung aufgefordert werden. Die Erkennung kann durch Sensoren oder manuelle Eingabe des Zugführers vorbei/vorausfahrender Züge erfolgen und an den Verkehr in der Umgebung gemeldet werden. Alternativ kann auch eine RCAS-Sendeeinheit in der Umgebung platziert werden, oder vor mehreren Kollisionsgefahren im Empfangsgebiet einer RCAS-Sendeeinheit von dieser gewarnt werden.

2.5. Fahrdienstleitung

Durch Einbeziehung einer Kommunikationsverbindung zum Stellwerk ergeben sich weitere Möglichkeiten, einen erkannten Konflikt aufzulösen: Der Fahrdienstleiter (Fdl) hat im Stellwerk zusätzlich noch die Möglichkeit, durch rechtzeitige Veränderung der Weicheneinstellung auf Seiten der Infrastruktur, z.B. durch Umleiten eines Zuges auf ein „sicheres“ Gleis eine Kollision oder einen Zusammenprall zu verhindern, sofern die Streckentopologie dies zulässt. Diese semi-automatische oder automatische Reaktion auf eine Gefahrensituation, die zugseitig erkannt wird, stellt eine innovative Ergänzung der bisherigen Sicherung dar.

2.6. Übertragungsverfahren

Als Übertragungsverfahren kann eines der gängigen Verfahren mit konkurrierendem Zugriff auf die Ressource „Frequenz“ verwendet werden, z.B. TDMA, CDMA, OFDM oder MC-CDMA [FK03]. Optional kann die Synchronisation des Zugriffs dabei über Galileo erfolgen, indem z.B. die zu verwendenden Zeitslots

bei TDMA aus der momentanen geografischen Position der RCAS-Sendeinheit abgeleitet wird. Alternativ können die Slots auch per Hash-Funktion aus der Zugkennung/RCAS-ID berechnet werden.

Aufgrund der geografischen Disjunktivität können ggf. die Frequenzen des maritimen AIS für das hier beschriebene Verfahren wieder verwendet werden.

3. BEISPIELE FÜR DIE ANWENDUNG

Für die Eisenbahn ist die Vermeidung von Kollisionen der Züge mit anderen Zügen ebenso wie mit jeglicher anderer Art von Hindernis eines der zentralen Themen der Sicherheit. Aus der Vielzahl der möglichen Anwendungsbeispiele werden im Folgenden einige charakteristische vorgestellt.

3.1. RCAS zur Vermeidung einer Folge-, Frontal- oder Flankenkollision

Zwei Züge bestimmen per GNSS ihre absolute Position und ihren Bewegungsvektor (Abbildung 2). Diese Information zusammen mit der Information „Zug- oder Rangierfahrt“ wird per Funk übertragen.

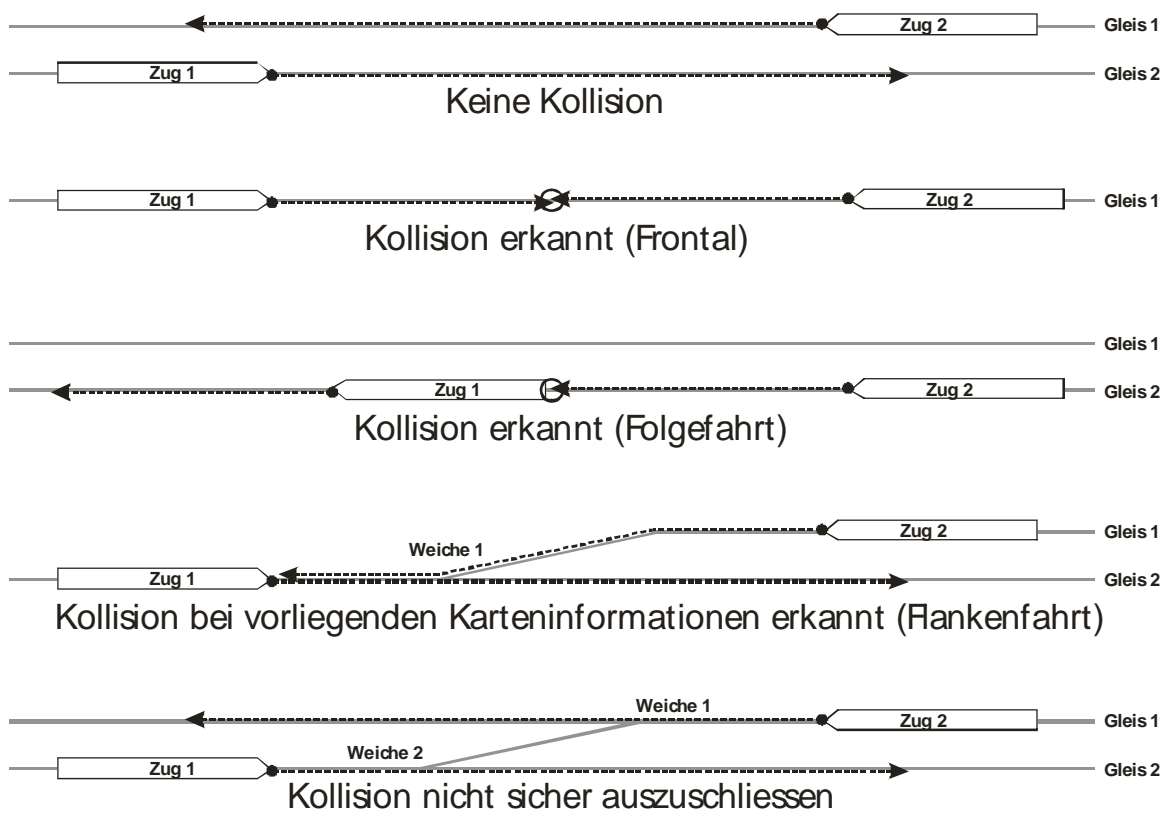


Abbildung 2: Beispiele für von RCAS zu erkennende Zustände.

Der jeweilige Empfänger vergleicht seinen Vektor mit allen empfangenen Vektoren. Sobald im vierdimensionalen Raum (Zeit und drei Raumachsen) eine Kollision erkannt wird, wird in Abhängigkeit von den räumlichen Parametern (Abstand, verbleibende Zeit, Geschwindigkeit, etc.) eine Reaktion ausgelöst, die von Warnung bis zu Zwangsbremmung reichen kann.

3.2. RCAS zur Sicherung von LÜ-Fahrten

Neben der Position des Zuges und seines Bewegungsvektors wird zusätzlich dessen LÜ-Typ übertragen. Damit können Züge, die sich auf dem Nachbargleis nähern ebenfalls Bremsungen auslösen um die Folgen einer Kollision zu reduzieren.

3.3. RCAS zur Sicherung von Bahnübergängen

RCAS-ausgerüstete Bahnübergänge übertragen ihren Sicherungszustand (schließend, geschlossen, unklar) und den Status des Freiraums (frei, bewegendes Objekt, stehendes Objekt, ggfs. Größe) an die sich nähernden Züge. Selbst bei sehr später Belegung des Freiraums durch ein Fahrzeug kann

noch eine Bremsung zur Unfallfolgenreduktion ausgelöst werden. Die durch die RCAS-Empfangseinheit im Zug automatisch ausgelöste Bremsung ist dabei auf jeden Fall schneller effektiv als eine ggf. manuell durch den Zugführer ausgelöste Bremsung.

3.4. RCAS zur Warnung vor Überflutung oder einer überfahrbaren Lawine

„Weiche“ Hindernisse auf der Strecke, wie z. B. wenige cm Schnee oder Wasser können an Stellen, die für solche Störungen bekannt sind, mit geeigneten Sensoren erkannt und durch einen RCAS-Sender übertragen werden. Dieser übermittelt ein Hindernis mit den Eigenschaften „weich“, Position, Ausdehnung und ggfs. einer Geschwindigkeitsbegrenzung an die sich nähernden Züge.

3.5. RCAS zur Sicherung von Baustellen

Auch Baustellen können mit RCAS gesichert werden. Hier kann, vergleichbar einer Kombination von LÜ-Fahrten und weichen Hindernissen eine Warnung für das Nachbargleis mit einer Geschwindigkeitsreduktion ausgegeben werden. Das Baugleis selber kann als „hartes“ Hindernis übertragen werden. Beide Funktionen können von einem RCAS-Sender übernommen werden, d.h. ein RCAS-Sender kann für verschiedene Ereignisse zuständig sein und darüber mittels unterschiedlicher Telegramme informieren. In der Gegenrichtung kann an den Bautrupps eine Warnung ausgegeben werden, wenn ein Zug sich nähert.

4. REALISIERUNGSANSATZ

Die RCAS-Sendeeinheiten strahlen in periodischen oder unregelmäßigen Abständen Telegramme über den Zustand der mit ihnen gekoppelten, bewegten (z.B. Zug) oder statischen (z.B. Gleissperrung durch Bautrupps) Plattform. In Abbildung 3 ist die Datenstruktur solcher Telegramme dargestellt.

Feld	Bedeutung	Mögliche Werte
RCAS-ID	Eindeutiger Bezeichner der Quelle, z.B. für den Zug	Zugnummer Bahnsteig-ID
Timestamp	Zeitstempel	
Fahrt-Typ	Grund der Fahrt bzw. Meldung	Zugfahrt Rangierfahrt LÜ-Fahrt Baufahrt Bahnübergang Baustelle temporäres Hindernis permanentes Hindernis
Referenzpunkt im Zug	Position der RCAS-Einheit im Zug	Head Tail
LÜ-Typ	Art der Lademaßüberschreitung	Keine, A, B, C, D
BÜ-Status	Ergebnis der Freiraumüberwachung	gesichert, frei gesichert, temporär belegt gesichert, statisch belegt ungesichert unbekannt
Zuglänge	Gesamtlänge des Zuges	
Streckenposition	Gleis- und Blockkennung	
Streckenvektor	Liste nächster Gleis- und Blockkennungen	

Geogr. Position	WGS84 Positionsinformation	Lat, Lon, Alt
Geschwindigkeit	Eigengeschwindigkeit	in km/h
Gefahrgut	Gefahrgutkennungen aus einer Taxonomie	

Abbildung 3: Beispielhafte Datenstruktur des RCAS-Telegrams

5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In diesem Beitrag wurde das infrastrukturunabhängige Verfahren „RCAS“ zur Kollisionsvermeidung von Zügen vorgestellt. Kernbestandteil ist die Positions-, Richtungs- und Geschwindigkeitsbestimmung per Satellitenortung mit GALILEO und Abstrahlung dieser und weiterer Informationen per regionaler Broadcast-Funkübertragung.

Die Bearbeitung des Themas ist derzeit noch in einer recht frühen Phase. Eine Arbeitsgruppe bestehend aus DLR und externen Partnern wird weitere Details des Systems definieren und mit den entsprechenden Gremien aus Industrie und Politik koordinieren. Darüber hinaus ist geplant, die Funktionsfähigkeit des Systems prototypisch zu demonstrieren.

6. REFERENZEN

- [ADS-B] Federal Aviation Administration (FAA): *About ADS-B*. <http://adsb.tc.faa.gov/ADS-B.htm>
- [Bay05] Bayern Heute: *Zugunglück in München: Staatsanwalt ermittelt gegen Lokführer*. 2005. <http://www.br-online.de/bayern-heute/artikel/0405/s-bahn/index.xml>
- [DB408] Deutsche Bahn AG: *Konzernrichtlinie 408: Züge fahren und rangieren* (Fahrdienstvorschrift).
- [FK03] K. Fazel and S. Kaiser: *Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems*. John Wiley & Sons. ISBN 0-470-84899-5. September 2003
- [Free05] Freenet Lexikon: *Katastrophen im Schienenverkehr*. 2005. http://lexikon.freenet.de/Katastrophen_im_Schienenverkehr
- [Gisz05] Giszczak, A., Lenz, B., Meyer zu Hoerste, M., Noack, T., Schäfer, H.-P., Schlingelhof, M., Strang, T., Zukunft, D.: *Exposé - GALILEO im Verkehr: Technical Report, May 2005*
- [Mak] Mak Data System: *Die Technik zum Automatic Identification System (AIS)*. http://www.makdata.de/www/de/business_units/solutions/all_solutions/solutions21.html
- [MzH04] Meyer zu Hörste, M.: *Methodische Analyse und generische Modellierung von Einbahnleit- und -sicherungssystemen*. Dissertation, Fortschrittsbericht VDI Reihe 12 Nr. 571, 2004, ISBN 3-18-357112-9
- [Stroh04] Strohbach, M., Gellersen, H.-W., Kortuem, G., Kray, C.: *Cooperative Artefacts: Assessing Real World Situations with Embedded Technology*. UbiComp 2004, LNCS 3205, pp. 250-267, 2004.
- [USCG] USCG Navigation Center: *Automatic Identification System Overview*. <http://www.navcen.uscg.gov/enav/ais/default.htm>