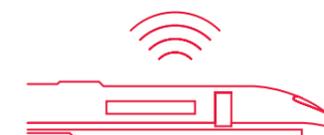




Bild: DLR/Henrik Frensch

MIT DEM ROTEN PFEIL AUF SIGNALJAGD



Reportage von einer nächtlichen Messfahrt im italienischen Schnellzug Frecciarossa

Von Julia Heil

Es ist 23 Uhr, die Stahlgerüste des Zugdepots von Neapel sind in gelbes Licht getaucht. Ein ohrenbetäubendes Zischen ertönt. Ein Zug fährt ins Depot ein. Langsam kommt er zum Stehen. Zwei Gleise weiter steht ein Scheinwerfer im Schotter des Gleisbetts und beleuchtet die offene Spitze eines Triebwagens. Ein ungewöhnlicher Anblick. Umso mehr, da sich darin etwas bewegt: Paul Unterhuber, Wissenschaftler aus dem DLR-Institut für Kommunikation und Navigation, sitzt im Inneren der Zugnase und befestigt eine Messantenne und ein Abstandsradar. Hochkonzentriert verbindet er die Einzelteile: Das rote Kabel kommt ans blaue, das grüne ans braune. Eine Geduldsarbeit, bei der Vorsicht geboten ist. Werden die Kabel zu sehr geknickt, kann es später bei der Messkampagne, die Unterhuber leitet, zu Problemen kommen. Auch im übrigen Teil des Zuges herrscht geschäftiges Treiben: Laptops werden aufgestellt, Kabel hin- und hergereicht und die Deckenverkleidung wird abgenommen, um weitere Antennen miteinander zu verbinden. „Ich bräuchte hier vorne nochmal kurz Hilfe! Wir müssen uns ein bisschen beeilen, damit wir die Nummer 28 noch rechtzeitig im Bahnhof treffen können“, ruft Paul Unterhuber in den vorderen Waggon.



Die beiden Frecciarossa-Hochgeschwindigkeitszüge erreichen eine Höchstgeschwindigkeit von 360 Kilometern pro Stunde und haben eine Länge von 328 Metern. In ihren Spitzen installierten die Wissenschaftler Messantennen und Abstandsradar, um die Distanz der zwei Züge genau zu ermitteln und Informationen zwischen den Zügen auszutauschen.



Die Arbeit in der Zugnase fordert von Paul Unterhuber Fingerspitzengefühl und ganzen Körpereinsatz.

Die Nummer 28 ist, wie auch die Nummer 7, in deren Nase er gerade die Antenne zur Funkkanalcharakterisierung befestigt hat, ein italienischer Hochgeschwindigkeitszug – ein Frecciarossa, auf Deutsch: Roter Pfeil. Diese beiden Züge sind nicht – wie üblich um diese Uhrzeit – mit Passagieren besetzt auf dem Weg zu einem Bahnhof oder stehen zur Reinigung im Depot. Heute Nacht befinden sie sich in den Händen eines elfköpfigen Teams aus dem DLR-Institut für Kommunikation und Navigation. Die Wissenschaftler nutzen die beiden Schnellzüge, um während der Fahrt die Zug-zu-Zug-Kommunikation zu untersuchen. Dazu sind sie extra von Oberpfaffenhofen nach Italien gereist. Auf der Hochgeschwindigkeitsstrecke zwischen Neapel und Rom kann das Team bei nächtlichen Messfahrten auf 206 Kilometern seine Untersuchungen durchführen. Die Forscher möchten herausfinden, wie der Informationsaustausch zwischen zwei Zügen bei voller Fahrt sichergestellt werden kann. Zur Vorbereitung der Messungen reiste Paul Unterhuber schon vorher nach Neapel und Vicenza und rüstete die Messzüge entsprechend aus: Vier Antennen auf dem Dach von Zug Nummer 28, zwei Antennen auf dem von Zug Nummer 7 und insgesamt 150 Meter Messkabel quer durch Waggons und Lokomotiven. Fünf weitere Antennen müssen heute Nacht noch eingebaut werden.

Inzwischen hat Paul Unterhuber seine Arbeit an der offenen Zugnase beendet und telefoniert. Am anderen Ende ist Dr. Stephan Sand, der Leiter der Gruppe Landverkehr am Institut für Kommunikation und Navigation und Teamleiter der Kampagne. Während Paul Unterhuber sich im Zug 7 um die letzten Installationen gekümmert hat, sorgte Stephan Sand im Zug 28 dafür, dass alle Beteiligten so schnell wie möglich startklar waren. „Wir sind bereit. Bis gleich am Bahnhof“, sagt Paul Unterhuber ins Telefon. Wenig später setzt sich der Zug langsam in Bewegung.

Signalstörung nach Mitternacht

Die Stazione di Napoli Centrale ist mit einem Passagieraufkommen von 50 Millionen Fahrgästen pro Jahr einer der wichtigsten Bahnhöfe Italiens. Als die beiden Züge um 1:00 Uhr am Bahnhof eintreffen, ist allerdings nicht mehr viel los. Vereinzelt sind noch Fahrgäste unterwegs, Reinigungskräfte säubern die Bahnsteige. Für die Wissenschaftler muss es jetzt schnell gehen, denn jede Minute im Bahnhof ist eine verlorene Minute für die Messung. Und beim Startsignal muss jeder im richtigen Zug sitzen. Equipment wird zwischen den Zügen ausgetauscht – bei einer Zuglänge von jeweils 328 Metern eine zeitraubende Angelegenheit. In den Waggons werden die Sende- und Empfangseinheiten kalibriert. Konzentriert sitzen alle an ihren Instrumenten. Dr. Michael Walter, Dr. Wei Wang und Dr. Thomas Jost beugen sich über einen großen Kasten, den sogenannten Channel Sounder. Michael Walter wirkt beunruhigt: „Ich höre ein Klacken – kein gutes Zeichen!“

Mit dem Channel Sounder wollen die Wissenschaftler den Übertragungskanal zwischen den beiden Zügen ganz genau charakterisieren. Ein Impuls von 120 Megahertz Bandbreite wird bei 5,2 Gigahertz von der Sendeeinheit ausgestrahlt und erreicht die Empfangseinheit, die sich auf dem anderen Zug befindet. Anhand der Signale können die Wissenschaftler Vorhersagen darüber treffen, wie eine bestimmte Umgebung das Übertragungssignal beeinflusst. Mit den Ergebnissen der Messung wird ein Modell für den Funkkanal erstellt. Darauf basierend sollen in Zukunft Kommunikationssysteme entwickelt werden, mit denen die Züge während der Fahrt Informationen austauschen können. Tunnel, Brücken, Wälder – dies alles sollte im empfangenen Signal für die Wissenschaftler erkennbar sein. Gestern, als das Team Messungen in nur einem Zug durchgeführt hat, hat auch alles wun-

derbar funktioniert. Heute gibt es allerdings Probleme beim Kalibrieren: Die Wissenschaftler empfangen Signale, die nicht ins Schema passen.

Mehrere Kollegen haben sich mittlerweile um das Messgerät versammelt und probieren verschiedene Lösungsansätze aus – immer noch erhalten die Wissenschaftler Signale, die sie sich nicht erklären können. Mittlerweile stehen die beiden Züge im Nirgendwo zwischen Neapel und Rom und die Zeit verrinnt. Schließlich zieht Paul Unterhuber einen Schlusstrich: „Wenn wir es bis 3:00 Uhr nicht schaffen, dann messen wir nur mit den anderen Instrumenten. Wir müssen langsam los und sollten nicht noch mehr Zeit verlieren.“

3:00 Uhr – nach wie vor gibt es Kalibrierungsprobleme – der Zug setzt sich in Bewegung.

Michael Walter, Wei Wang und Thomas Jost beginnen damit, das Equipment zusammenzupacken. Enttäuschung macht sich breit, die heutige Nacht ist, zumindest für die Messungen mit dem Channel Sounder, verloren. Doch der enge Zeitplan lässt eine aufwändige Untersuchung zur Fehlerbehebung jetzt nicht mehr zu. Am nächsten Tag werden die Wissenschaftler mehrere Stunden damit verbringen, jede Verbindung und jedes Kabel akribisch zu überprüfen, um den Fehler zu finden. Höchstwahrscheinlich verursachte die Oberleitung Störungen im Signal. In den folgenden beiden Nächten wird das Team dann bei den Messungen mit dem Channel Sounder gute Ergebnisse erzielen und den Funkkanal zwischen zwei fahrenden Hochgeschwindigkeitszügen genau charakterisieren können. Davon weiß allerdings in der heutigen Nacht noch niemand etwas. Deshalb heißt es für die drei Wissenschaftler: Kurz durchatmen, nachdem alles verstaut ist, der Rest der Nacht wird schon noch lang genug. Jetzt hat auch Paul Unterhuber endlich ein wenig Zeit, um ein Stück von seiner Pizza zu essen – die ist allerdings schon lange kalt.

Kollisionsvermeidung bei Hochgeschwindigkeit

Ein anderes Bild bietet sich beim Blick zurück: Im Führerstand der Lok am Ende des Zuges schaut Dr. Thomas Strang gespannt auf einen kleinen Laptopmonitor, hält einen Telefonhörer in der Hand und hat gleichzeitig ein Funkgerät in Griffweite. „220 Kilometer pro Stunde – Geschwindigkeit halten“, sagt er auf Englisch in den Hörer. Er spricht mit dem Lokführer vorn und hält gleichzeitig Kontakt zu seinem Kollegen Dr. Andreas Lehner in dem Zug, der ihnen folgt. Thomas Strang schaut hinaus auf die schnell vorbeiziehenden Lampen am Rand der Bahnstrecke. Von Zug Nummer 28 ist nichts zu sehen. Weit entfernt ist er allerdings nicht. Strang deutet auf seinen Laptop, auf dem die Daten des Kollisionsvermeidungssystems RCAS (Railway Collision Avoidance System) angezeigt werden: „Hier kann ich den anderen Zug sehen, wir haben im Moment noch eine Distanz von ungefähr zehn Kilometern. Allerdings holen die anderen immer weiter auf und demnächst müssten wir sie zu sehen bekommen.“ Und wirklich, kurze Zeit später biegen Lichter um eine Kurve, die der Schlusslok des voranfahrenden Zuges näher kommen.

Das in den beiden Hochgeschwindigkeits-Messzügen installierte RCAS-System erfasst ständig relevante Parameter wie Position, Streckenführung, Geschwindigkeit und Bremsvermögen. Diese Informationen werden an alle Züge in der näheren Umgebung gesendet. Während der Fahrt vergleicht das System die eigenen Parameter mit denen der anderen Züge. Die exakte Kenntnis und der Vergleich der Parameter machen es möglich, Konfliktsituationen schnell zu identifizieren. Einen weiteren Vorteil bietet das System bei der Streckenbelegung: Derzeit werden Streckenabschnitte immer nach dem maximalen Bremsweg kalkuliert. Befindet sich ein Zug auf einem Gleisabschnitt, muss der nachfolgende Zug einen Abstand von bis zu zehn Kilometern einhalten. Mit dem RCAS-System könnten Zugstrecken in Zukunft effektiver belegt werden, da die Länge des Bremsweges zu jeder Zeit exakt bestimmt werden kann.

DAS PROJEKT

Wissenschaftler des DLR untersuchten in Italien vier Nächte lang die drahtlose Zug-zu-Zug-Kommunikation in und zwischen zwei Hochgeschwindigkeitszügen. Der italienische Partner Trenitalia stellte ihnen dazu zwei Hochgeschwindigkeitszüge des Typs Frecciarossa zur Verfügung. Die Messungen wurden im Rahmen des EU-Projekts Roll2Rail auf der Hochgeschwindigkeitsstrecke zwischen Neapel und Rom durchgeführt. Bei Roll2Rail handelt es sich um ein Leuchtturmprojekt aus der Shift2Rail-Initiative innerhalb des Programms Horizont 2020. 31 europäische Partner arbeiten daran, Schlüsseltechnologien zu entwickeln und die Zuverlässigkeit im Zugverkehr zu erhöhen sowie Kosten zu senken.

Das Projekt Roll2Rail wird im Programm Horizont 2020 der Europäischen Union gefördert (Grant Agreement No 636032). Es ist eng verbunden mit dem DLR-Projekt Next Generation Train.



Der Channel Sounder besteht aus einer Sende- und einer Empfangseinheit. Der Empfänger zeigt, wie das Funksignal durch die Umgebung reflektiert wird.



In einem hell erleuchteten Tunnel sind die beiden Roten Pfeile schließlich auf gleicher Höhe, bei einer Geschwindigkeit von etwa 250 Kilometern pro Stunde. Beim Vorbeifahren ist in den Fenstern des vorderen Waggons Stephan Sand zu sehen, der in Zug Nummer 28 die Messungen kontrolliert. Thomas Strang dirigiert die Überholmanöver: „Geschwindigkeit anziehen, ja, das ist gut, die anderen sind bei 230 Kilometern pro Stunde, also halten wir unsere Geschwindigkeit bei 250 und ziehen langsam vorbei.“ Sein System funktioniert einwandfrei, auch bei Hochgeschwindigkeit. Der Stolz steht ihm ins Gesicht geschrieben: „Wir machen gerade RCAS bei 250 Kilometern pro Stunde, das gab es bis jetzt noch nie!“ In der letzten Nacht der Messungen wird das Team den Rekord bei einer Kreuzungsfahrt sogar auf relative 560 Kilometer pro Stunde hochschrauben. Und auch dabei wird das System problemlos funktionieren.

Kopplung per Funk erspart das Umsteigen

Neben dem RCAS-System haben die Wissenschaftler des DLR noch ein weiteres System zum Informationsaustausch zwischen den Zügen mit an Bord, das ITS-G5 (Intelligent Transportation System at 5 GHz). Es ist eigentlich für den Austausch von hohen Informationsraten ausgelegt und wurde ursprünglich für Straßenfahrzeuge entwickelt. Es funktioniert wie das RCAS-System, ohne auf Funkmasten oder andere Komponenten entlang der Strecke zurückgreifen zu müssen – allerdings bislang nur auf kurzen Entfernungen. Während das RCAS-System noch ein Signal bis zu einer Distanz von fast 40 Kilometern empfangen kann, hat das ITS-G5 die Verbindung schon nach ungefähr 1,2 Kilometern verloren.



Kurz bevor es losgeht, klären Stephan Sand vom DLR und Maurizio d'Atri (rechts) von Trenitalia die letzten Formalitäten

Mit den Messungen vom ITS-G5 möchten die Forscher die Grundlage schaffen für das sogenannte dynamische Flügeln von Hochgeschwindigkeitszügen. Bei diesem Manöver, das auch virtual coupling genannt wird, sollen sich die Züge selbstständig während der Fahrt zu einem längeren Zug verbinden und auch wieder in Einzelzüge trennen können. Dabei fahren die Züge hintereinander und sind nicht physisch, sondern nur über einen drahtlosen Kommunikationslink verbunden. Je näher sich die hintereinander fahrenden Schienenfahrzeuge kommen, desto präziser müssen sie Informationen über ihre Position und Geschwindigkeit austauschen. Nur so können sie sich derart aneinander anpassen, dass sie sich wie ein einziger, langer Zug verhalten. Das hat den Vorteil, dass bestimmte Passagiere ihr Ziel ohne Umsteigen erreichen können, da zeitintensive An- und Abkopplungsmanöver in den Bahnhöfen vermieden werden. Außerdem können mit dem dynamischen Flügeln die Kapazitätsgrenzen der Strecken erhöht werden.

Mehrere Male noch überholt Zug 28 die Nummer 7 und lässt sich sofort wieder zurückfallen. Durch die Fenster sieht man die Dämmerung, aber dafür haben die meisten der nächtlichen Forschungsreisenden keinen Blick. Ihre Aufmerksamkeit gilt allein den Messinstrumenten. Als die beiden Frecciarossas wieder in das Depot bei Neapel einfahren, geht gerade die Sonne auf. Die Instrumente werden aus den Waggons getragen, das Reinigungspersonal steigt ein und beginnt seine Arbeit.

Für die beiden Roten Pfeile beginnt nach der Nacht, in der sie als Kommunikationslabor dienen, wieder der Alltag als Personenzug. Für die Wissenschaftler geht es jetzt allerdings erst einmal ins Hotel zum Schlafen ...



Vorsicht ist geboten, wenn der empfindliche Channel Sounder in den Zugwaggon geschoben wird

DER CHANNEL SOUNDER: 15 JAHRE SIGNALANALYSE

Bei der Entwicklung von neuen Kommunikationssystemen ist es wichtig, den Funkkanal zwischen Sender und Empfänger so genau wie möglich zu kennen und zu erfassen. Je besser ein Kanal verstanden und definiert werden kann, umso genauer können Sender und Empfänger auf die Umgebung abgestimmt werden. Der sogenannte Channel Sounder dient dazu, die Funkkanäle zu charakterisieren.

Ein Signal, das von einem Sender ausgestrahlt wird, erfährt Reflexionen durch die Umgebung, bevor es den Empfänger erreicht. In der Umgebung eines Zuges, der mit hoher Geschwindigkeit durch einen Tunnel fährt, wird das Signal anders reflektiert als bei einer Satellitenfunkverbindung zu einem Empfänger in einem Waldgebiet. Solche Reflexionen und auch andere Effekte wie Beugung führen zu Signalverzerrungen. Da das Sendesignal des Channel Sounders bekannt ist, können die Wissenschaftler diese Signalverzerrungen, die das gesendete Signal auf seinem Weg durch den Funkkanal erfährt, sehr genau messen.

Auch die Beschaffenheit des Bodens, an dem die Signale von Navigationssatelliten reflektiert werden, spielt eine Rolle für das Verhalten des Signals. In mehreren Messungen von 2014 bis 2015 montierte ein Team von Wissenschaftlern Sender und Empfänger des Channel Sounders auf zwei 40 Meter hohen Kränen. Vermessen wurden die Eigenschaften des Asphalts einer Landebahn, von Wasser und von einem eisbedeckten See.

Ganz gleich, ob es sich um zukünftige Kommunikationssysteme handelt oder ob neue Anwendungsbereiche erschlossen werden sollen, ohne den Channel Sounder wäre Kommunikation ein Funken ins Ungewisse. So ist es mit heutigen Navigationssystemen wie Galileo oder GPS (Global Positioning System) derzeit noch nicht möglich, innerhalb von Gebäuden präzise Positionsbestimmungen vorzunehmen. Die Messungen mit dem Channel Sounder sollen dies ändern. 2008 gelang es, den Übertragungskanal von einem simulierten Navigationssatelliten zu einem improvisierten Fußgänger innerhalb eines Gebäudes mit Hilfe des Sounders zu charakterisieren.

Neben Messungen für Systeme wie Galileo oder GPS dient der Channel Sounder auch der Vorbereitung neuer Kommunikationssysteme. So untersuchten die Wissenschaftler die Kommunikationswege von Flugzeug zu Flugzeug (2009), von Auto zu Auto (2013) sowie von Schiff zu Schiff. Während im Jahr 2014 Messungen auf der Ostsee bei ruhigem Seegang durchgeführt wurden, untersuchten DLR-Wissenschaftler 2016 auf der Nordsee die Reflexionen der Wellen und des Wassers rund um die Insel Helgoland bei Windstärke 7.

Seit 15 Jahren ist der Channel Sounder ein bewährtes Messinstrument für die Wissenschaftler am DLR-Institut für Kommunikation und Navigation. Bei der Roll2Rail-Messkampagne in Italien 2016 zeigte sich sein Nutzen einmal mehr: Die Wissenschaftler gewannen wertvolle Informationen über den Charakter des Funkkanals im Bereich der Zug-zu-Zug-Kommunikation.



Im Jahr 2002 untersuchten DLR-Wissenschaftler mit dem Channel Sounder den Funkkanal zwischen einem Messbus und einem Zeppelin



Um die Bodenreflexionen eines Funksignals zu messen, das von einem Flugzeug oder einem Satelliten ausgestrahlt wird, installierten die Wissenschaftler für Versuche 2014 und 2015 den Channel Sounder auf einem 40 Meter hohen Kran