

# Erhöhung der Streckenkapazität des Shinkansen mit dynamischem Flügeln

Untersuchung betrieblicher Szenarien des virtuellen Kuppelns und Entkuppelns während der Fahrt – Effekte beim japanischen Shinkansen-Hochgeschwindigkeitsverkehr

TILO SCHUMANN

**Unter dem „Flügeln“ von Zügen versteht man die gemeinsame Fahrt zweier Züge, die sich nach Ende des gemeinsamen Abschnitts trennen und in verschiedene Richtungen weiterfahren. Das Kuppeln und Trennen findet im Bahnhof statt. Beim Zusammenkuppeln wartet der erste Zugteil, während sich der andere langsam annähert und dann ankuppelt. Die Idee des dynamischen Flügelns liegt darin, diesen Prozess auf die Strecke zu verlegen und das Kuppeln und Entkuppeln während der Fahrt durchzuführen.**

## Einführung zum Flügeln von Zügen

Das Flügeln ermöglicht eine intensivere Nutzung des Eisenbahnnetzes, weil mehrere Züge zusammen nur noch eine Fahrplantrasse belegen. Die Kapazität des Netzes ist primär beschränkt in der Anzahl der Züge und weniger durch die Länge der Züge, insbesondere im Personenverkehr. Weiterhin ist der Personalbedarf geringer und die Fahrzeuge werden effizienter genutzt, wenn in schwächer nachgefragten Abschnitten kürzere Züge fahren. Verglichen mit einem Zubringerliniennetz bietet das Flügeln den Fahrgästen ein komfortableres Reisen, da der physische Aufwand und der mentale Stress für das Umsteigen entfällt. Die einzige Herausforderung

für die Reisenden ist das Finden des richtigen Zugteils am Bahnsteig.

Ein Problem des Flügelns stellt die Kupplungsprozedur dar. Hierbei treten vereinzelt mechanische Störungen auf und bei Verspätungen sind mehr Zugteile betroffen als bei einer Fahrt ohne Flügeln. Um die Auswirkungen dieser Probleme zu reduzieren, werden häufig große Reservezeiten in den Flügelbahnhöfen vorgesehen, was sich negativ auf die Gesamtreisezeit auswirkt.

Der vorliegende Artikel behandelt Betriebs-szenarien, die das dynamische Flügeln verwenden. Dabei werden die Züge nicht mehr mechanisch gekuppelt, sondern halten einen Abstand zum Nachbarzug mittels Regelung des Antriebs und der Bremsen ein. Der Abstand könnte z. B. bei 10 m liegen (Abb. 1). Zur Ermittlung des Abstandes und der Regelung wird eine ausgeklügelte Kommunikations- und Ortungstechnik eingesetzt. Das dynamische Flügeln ist Teil des Projektes „Next Generation Train“ (NGT) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) [1].

## Szenarien für dynamisches Flügeln

Die Weiche ist eine wesentliche Randbedingung für die Entwicklung von Betriebs-szenarien für das dynamische Flügeln. Dies liegt darin begründet, dass im Falle einer Weichenstörung der Folgezug sicher vor der Weiche zum Stehen kommen muss. Er muss also den absoluten Bremswegabstand zur Weiche einhalten [2]. Da der Führungszug kurz vorher

über die Weiche gefahren ist, müsste der Abstand zweier Teilzüge kurz vor der Trennung der Fahrwege wesentlich größer als der relative Bremswegabstand sein, wodurch viele Szenarien des dynamischen Flügelns ihres Nutzens beraubt werden. Daher wird im Folgenden zwischen zwei grundlegenden Weichentechnologien unterschieden:

- Netz mit konventionellen Weichen sowie
- Netz mit Weichen, die in jeder Situation sicher überfahrbar sind.

Letzteres erscheint möglich, wenn es sich dabei um passive Weichen handelt, wo seitens der Infrastruktur keine Vorgabe über den Fahrweg mehr gemacht wird. Leider sind derartige Weichen noch nicht für den schnellen Bahnverkehr entwickelt, genauso wenig wie eine störungsfreie Weiche.

## Szenarien mit konventionellen Weichen

### Slip Coaching

Das Slip-Coaching-Szenario hat seine Ursprünge im 19. Jahrhundert in Großbritannien [3]. Zu dieser Zeit gab es Züge, bei denen die letzten Wagen in kleineren Stationen während voller Fahrt so abgekuppelt wurden, dass sie am Bahnsteig zum Halten kamen. Die meisten Wagen im vorderen Teil des Zuges fuhren, ohne Zeit zu verlieren, weiter. Ein Nachteil ist allerdings, dass der Halt der Waggons auf dem durchgehenden Hauptgleis stattfand und somit die Wagen dann wegrangiert werden mussten. Der gegensätzliche Prozess, also das Ankuppeln eines Wagens bei voller Fahrt, ist natürlich nicht möglich.

Mit dem Einsatz von Triebwagen wird dieses Verfahren einfacher, da keine Rangierlokomotiven mehr notwendig sind und auch ein Ankuppeln möglich ist. Dafür muss der vorher haltende Zugteil rechtzeitig vor dem durchgehenden Zugteil beschleunigen und kann diesen dann aufschließen lassen, um ein virtuelles Kuppeln zu ermöglichen.

### Verdopplungsszenario

Das Verdopplungsszenario wird in diesem Artikel detailliert betrachtet. Ausgangslage ist eine stark belastete Hochgeschwindigkeitsstrecke mit homogenem Verkehr. Der Zugmix weist keine ausgeprägten Geschwindigkeitsunterschiede auf, lediglich das Halteschema unterscheidet die verschiedenen Zugtypen. Weiterhin sollte Bedarf nach zusätzlichen Transportkapazitäten bestehen.



Abb. 1: Impression zweier dynamisch geflügelter NGT-Link-Züge

Das Ziel des Szenarios ist die Kapazitätserhöhung der vorhandenen Strecke. Um das Weichenproblem abzuschwächen, finden die Annäherungs- und Trennungsmanöver in der Nähe der Bahnhöfe statt, wenn die Geschwindigkeiten niedrig und dementsprechend die Bremswege kurz sind.

Zunächst stehen beide Züge an benachbarten Gleisen. Dann fährt der erste Zug los. Wenn die Einfädelweiche geräumt und umgestellt wurde, fährt der zweite Zug hinterher in den belegten Block. Dabei fährt er im relativen Bremswegabstand zum ersten Zug. Er schafft es aber nicht aufzuschließen. Betrieblich ist es auch nicht sinnvoll, dass der erste Zug langsamer fährt, um ein Aufschließen zu ermöglichen, denn vor der Trennungsweiche muss wieder der absolute Bremswegabstand eingehalten werden. Neben einer Erhöhung der Kapazität kann auch die Haltezeit von überholten Zügen reduziert werden, wenn zwei überholende Züge dichter fahren. Die Szenarien sind in Abb. 2 dargestellt.

### Szenarien mit passiven Weichen

Flügel an Verzweigungen

Das Flügel an Verzweigungen ist der „klassische“ Fall, wenn man an mögliche Szenarien des dynamischen Flügelns denkt. Zwei Züge fahren von unterschiedlichen Strecken mit hoher Geschwindigkeit auf einen gemeinsamen Streckenabschnitt zu und passieren in kurzem Zeitabstand die Einfädelweiche. Sie kuppeln nun virtuell und setzen ihre Fahrt „vereint“ fort. Später teilen sie sich wieder auf und überfahren die Trennungsweiche in dichter Folge in verschiedenen Richtungen.

Die Herausforderung hierbei sind die Herstellung einer Weiche, die in allen Richtungen in jeder Situation sicher befahrbar ist und die Koordination von Position und Geschwindigkeit der Züge beim Einfädeln. Ein schwieriger Fall ist es, wenn die Geschwindigkeit desjenigen Zuges überraschend abfällt, der zuerst auffahren sollte. Um eine Flankenfahrt zu vermeiden, müssen daher bereits im Annäherungsbereich der verschiedenen Strecken die Regeln des dynamischen Flügelns zur Anwendung kommen, die unter anderem definierte Verzögerungen bei Schnellbremsungen und genaue Geschwindigkeitsvorgaben vorsehen. Da es derzeit keine passiven Weichen für den Hochgeschwindigkeitsverkehr gibt, wird dieses Szenario nicht weiter betrachtet.

Autobahnscenario

Namensgeber dieses Szenarios sind die Autobahnen, die an jeder Stelle ein Überholen ohne Gegenverkehr ermöglichen. Die Bahnstrecke besitzt daher zwei Gleise pro Richtung, also insgesamt vier. In regelmäßigen Abständen gibt es Überleitstellen, bei denen die Gleise gewechselt werden können. Ausgeführt sind diese natürlich mit passiven Weichen. Langsamere Züge fahren auf dem rechten Gleis, überholende links davon. Wenn ein mittelschneller

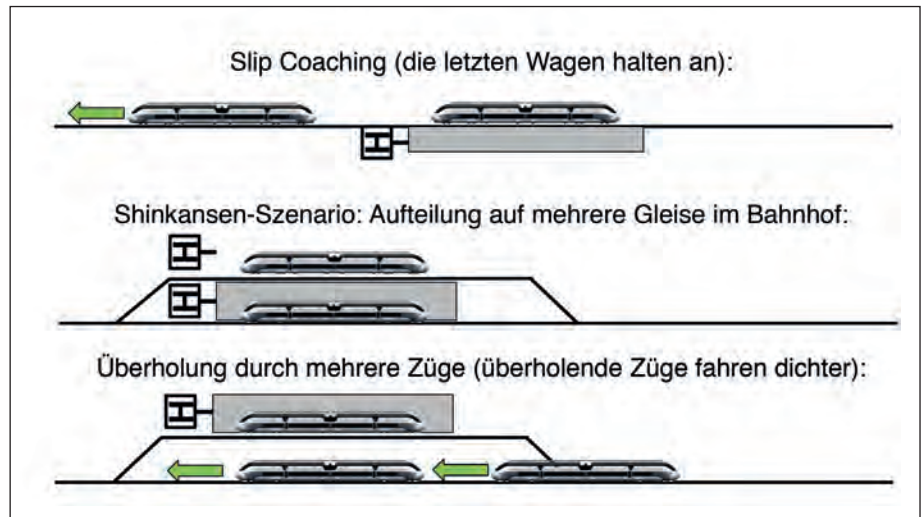


Abb. 2: Szenarien des dynamischen Flügelns mit Verwendung herkömmlicher Weichen

Zug überholen will, nutzt er das linke Gleis und fährt baldmöglichst auf das rechte zurück, um dieses für schnelle Züge freizumachen.

Mit klassischer Signalisierung gibt es ansatzweise einen solchen Betrieb bereits (z. B. auf der East Coast Main Line in Großbritannien), allerdings wird auf viergleisigen Strecken selten davon Gebrauch gemacht. Mit Verwendung des relativen Bremswegabstands könnte die Zugdichte und damit die Kapazität noch deutlich stärker erhöht werden. Die Szenarien sind in Abb. 3 dargestellt.

### Simulationsumgebung

#### DFSimu

Um die Szenarien zu evaluieren, kann leider nicht auf konventionelle Simulationstools wie OpenTrack [4], RailSys [5] oder FBS [6] zurückgegriffen werden, da diese ein Fahren im relativen Bremswegabstand nicht vorsehen. Einige können mit dem Moving Block umgehen, aber dieser erlaubt nur ein Fahren im absoluten Bremswegabstand.

Für die Simulation wurde das Tool DFSimu am DLR geschaffen, welches eine synchrone

Eisenbahnsimulation mit virtuellem Kuppeln und dynamischem Flügelns durchführt.

Das Tool besitzt Komponenten für Datenmanagement, Simulation und Fahrdynamikberechnung, die konventionelle Signalisierung, die Steuerung des dynamischen Flügelns, die Protokollierung und die Ausgabe der Ergebnisse sowie einen Import von OpenStreetMap-Gleisdaten. Der Verkehr auf einer 515 km langen Strecke mit 66 Zügen und 15 700 Zugkilometern kann auf einem gewöhnlichen Laptop in 45 Sekunden simuliert werden. Im Ergebnis werden Bildfahrpläne, Zugfahrprofile, Energieverbrauchsdiagramme, Streckenprofile und Bahnhofsbelegungspläne ausgegeben. Alle Simulationsdaten werden in Protokolldateien gespeichert, darunter die Zugbewegungen, Zuglaufwege sowie die Blockbelegungen.

#### Geschwindigkeitsprofile

Das Tool berechnet die Zugfahrten im Voraus, um die kürzestmöglichen Fahrzeiten zu ermitteln und daraus im Vergleich mit dem Fahrplan die Fahrzeitreserve festzustellen. Ebenso werden alle Bremskurven vor der Simulation be-

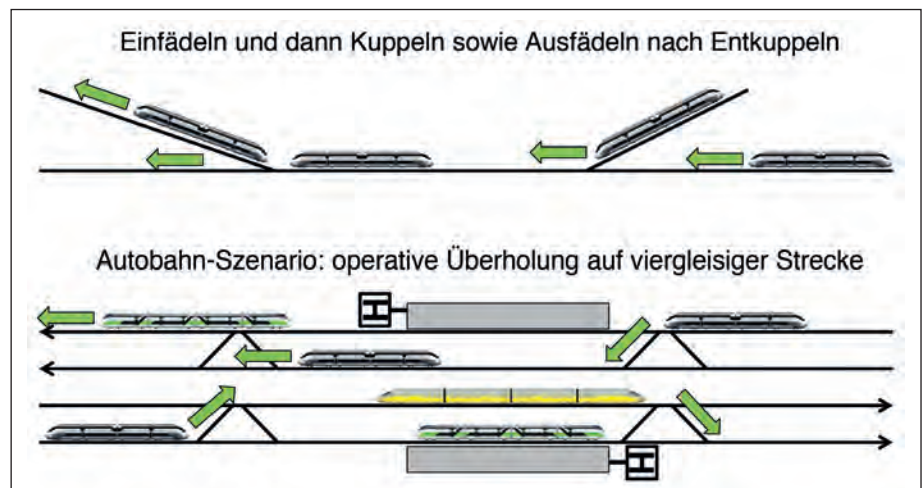


Abb. 3: Szenarien des dynamischen Flügelns mit Verwendung von passiven Weichen

rechnet. Die Fahrgeschwindigkeit wird analog zu anderen Simulationstools berechnet und konstant zwischen zwei Betriebsstellen gefahren. Bei pünktlicher Fahrt wird der nächste Halt dann zeitgenau erreicht. An Fahrplanpunkten wird die Verspätung ermittelt und die Fahrweise ggf. angepasst, indem die Höchstgeschwindigkeit zum Abbau von Verspätungen gefahren wird. Um spitze Fahrweisen zu vermeiden, gilt nach dem Ende eines Bremsvorgangs ohne Stillstand (Signal geht auf Fahrt), dass der Zug eine Weile weiterrollt, bevor er wieder beschleunigt.

### Signalsystem

Die Abbildung konventioneller Signalsysteme ist in der Simulation vereinfacht. Die Abstandshaltung basiert auf der Einteilung der Strecke in Blöcke. Dabei werden die Hauptsignale bzw. andere reale oder virtuelle Blockgrenzen verwendet. Das Bremsen findet entsprechend von vorberechneten Betriebsbremskurven statt, die es für alle Signale, Halte, Langsamfahrstel-

len und virtuelle Blockgrenzen gibt. Vorsignale gibt es nicht. Fahrstraßenbilde- und -auflösezeiten werden berücksichtigt. Ein Zug kann sich in mehreren Blöcken gleichzeitig befinden und auch innerhalb mehrerer Bremskurven. Mit diesem Modell können Hochgeschwindigkeitsverkehr und Hochleistungsblock ohne weiteren Aufwand abgebildet werden.

### Prozedur des dynamischen Flügeln

Das dynamische Flügeln wird über das konventionelle Signalsystem durchgeführt. Der Folgezug erhält dabei die Berechtigung, in einen belegten Block einzufahren, sozusagen an einem Halt zeigenden Signal vorbeizufahren. Im Fahrplan wird dem Folgezug die Instruktion gegeben, nach einem Fahrplanhalt eine Folgefahrt zu einem anderen Zug durchzuführen. Das dynamische Flügeln kann in diesem Szenario somit ausschließlich bei Stillstand des Folgezuges beginnen. Der Führungszug passiert die Einfädelweiche. Nach erfolgter Umstellung erhält der Folgezug die Abfahrts-

berechtigung und fährt eigenverantwortlich in den belegten Block hinterher. Dabei sind natürlich die Voraussetzungen zu erfüllen: So muss u.a. eine Kommunikationsverbindung zum Führungszug bestehen, die Positionen müssen bekannt sein und es muss der relative Bremswegabstand eingehalten werden. In der Simulation sind natürlich immer alle Informationen vorhanden, in der Realität müssen die Voraussetzungen geprüft werden und es gelten die Notfallprotokolle (z.B. Kommunikations- und Ortungsausfälle, Brems- und Antriebsversagen).

Die Blockbelegung erfolgt derartig, dass der Führungszug für die Belegung der Blöcke und natürlich auch die Beachtung der Bremskurven verantwortlich ist, während der Folgezug die Blockfreigabe durchführt. Beide Züge kennen die Trennungsweiche und die zugehörigen benachbarten Blöcke. Der Folgezug beobachtet die Trennungsweiche und hält dorthin den absoluten Bremswegabstand ein, bis der Fahrweg für den Folgezug eingestellt ist. Nach der Trennung fahren die Züge wieder nach dem konventionellen Signalsystem, die Folgefahrt ist beendet.

### Anwendung auf den japanischen Shinkansen

#### Aktuelle Situation auf der Tokaido-Strecke

Die Tokaido-Strecke war die erste Hochgeschwindigkeitsstrecke der Welt und ist heute auch die am stärksten belastete [7]. Sie wurde 1964 eröffnet, führt von Tokio nach Osaka (Abb. 4), ist 515 km lang und wird seit 2015 mit 285 km/h befahren. In der Simulation wird noch die vorherige Höchstgeschwindigkeit von 270 km/h verwendet, die durch den Einsatz von Altfahrzeugen notwendig war. Die schnellsten Züge sind die „Nozomi“-Shinkansen, die neben den großen Städten Tokio, Nagoya, Kyoto und Osaka auch die Stationen Shinagawa und Shin-Yokohama im Großraum Tokio bedienen. Die „Hikari“-Züge haben etwas mehr Halte und die „Kodama“-Züge halten an allen 17 Stationen (Abb. 5). Die Zugdichte ist sehr hoch. Von Tokio fahren an gewöhnlichen Nachmittagen elf Züge pro Stunde ab. Die Nozomi-Züge fahren dabei im 10-Minuten-Takt. Weiterhin fahren zwei Hikari- und zwei bis drei Kodama-Züge pro Stunde. Die Strecke ist an ihrer Leistungsgrenze, daher ist der Chuo-Shinkansen geplant. Dieser neue Shinkansen soll unter Verwendung von Magnetschwebetechnik Tokio mit Nagoya und Osaka verbinden. Ein Inbetriebnahmedatum ist aber nicht abzusehen [8].

An kleineren Bahnhöfen wird fast jeder haltende Zug von durchfahrenden Zügen überholt, manchmal sogar von zweien. Die Station Atami stellt eine Herausforderung dar, weil es dort im Unterschied zu den anderen Unterwegsbahnhöfen keine Überholgleise gibt und die Bahnsteige direkt am durchgehenden Hauptgleis liegen.



Abb. 4: Lage der Tokaido-Strecke im japanischen Shinkansen-Netz

Grafik: Hisagi/Wikipedia

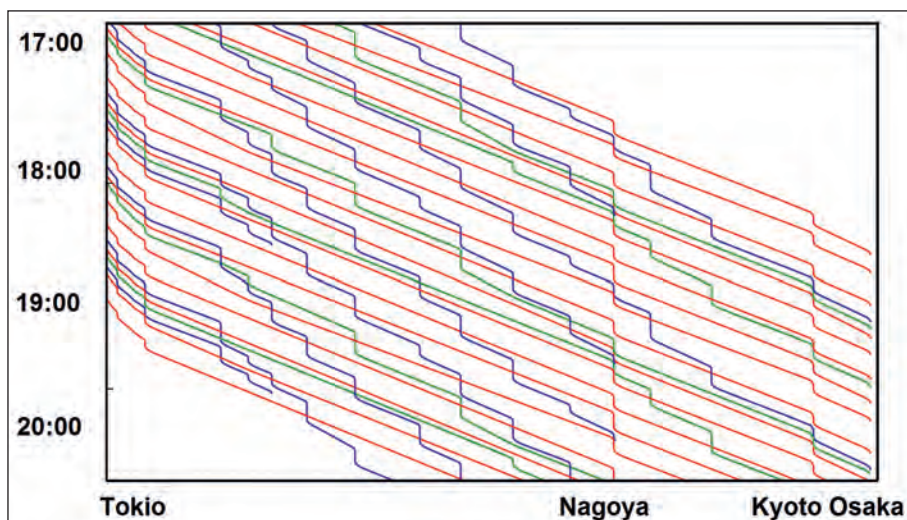


Abb. 5: Bildfahrplan der Tokaido-Strecke Richtung Westen zwischen 17.00 und 20.00 Uhr; rot: Nozomi (schnell), grün: Hikari (mehr Halte), blau: Kodama (überall haltend)

Für die Simulation werden ausschließlich Züge der Baureihe Shinkansen 700 verwendet. Diese sind 405 m lang und bestehen entweder aus 16 Wagen oder einer Doppeltraktion von Acht-Wagen-Einheiten. Damit werden alle Bahnsteige (und auch Abstell- und Überholgleise) in maximaler Länge ausgenutzt. Ein Zug wiegt besetzt 708 t, beschleunigt mit  $0,9 \text{ m/s}^2$  und bietet 1323 Sitzplätze.

Die Kodama-Züge haben den höchsten Energieverbrauch, weil sie am häufigsten anhalten (22 kWh/km ohne Rückspeisung), die durchfahrenden Nozomi-Züge benötigen 16 kWh/km.

### Stationen Tokio und Nagoya

Bahnhöfe sind oft der Engpass von Eisenbahnnetzen. Auch die Shinkansen-Bahnhöfe sind, gemessen an ihrer Verkehrsbelastung, sehr sparsam dimensioniert.

Der Tokaido-Teil des Hauptbahnhofs von Tokio hat sechs Bahnsteiggleise. Diese besitzen keine Verbindung mit den Shinkansen-Linien Richtung Norden und auch nicht mit den Kapspurgleisen der klassischen japanischen Eisenbahn. Ankommende Züge fahren über den Weichenbereich, womit in diesem Moment die Abfahrtmöglichkeiten beschränkt sind, und fahren dann in den Bahnsteigbereich ein, wo die Gleise an Prellböcken enden. Nach dem Ausstieg aller Fahrgäste wird der Zug in kurzer Zeit gereinigt. Die Sitze werden gedreht, um wieder in Fahrtrichtung zu weisen. Danach kann der Zustieg der Fahrgäste erfolgen. Die Fahrgastwechselquote ist naturgemäß sehr hoch, liegt aber nicht bei 100 %, da die zwei anderen Bahnhöfe der Metropolregion entlastend wirken. Mit diesen Randbedingungen zeigt sich, dass eine Erhöhung der Zugzahlen eine Herausforderung ist. Entweder sind weitere Bahnsteiggleise erforderlich, was in Anbetracht der Bebauungssituation um den Hauptbahnhof und auch das vorhandene U-Bahnsystem sehr schwierig ist, oder die Reinigungszeiten müssen durch den Einsatz von noch mehr Personal verkürzt werden.

Nagoya hat nur vier Gleise mit zwei Mittelbahnsteigen für den Shinkansen. Die Abstellanlage kann nur von den mittleren Gleisen erreicht werden. Aus- und einsetzende Züge können also nur zwei der vier Gleise benutzen. In der weiteren Untersuchung zeigt sich, dass eine Erhöhung der Zugzahlen in Nagoya kaum möglich ist. Die Situation der Bahnhöfe ist in Abb. 6 zu sehen.

### Simulation

Die Fahrpläne für die Tokaido-Strecke wurden für das Jahr 2015 von JR Central übernommen [9]. In der Spitzenstunde am Nachmittag fahren elf Züge von Tokio Richtung Westen ab. Am Morgen sind es zehn und mittags acht Züge pro Stunde. In der Simulation wurde die Fahrtrichtung Westen in der Hauptverkehrszeit von 16.00 bis 19.00 Uhr abgebildet. Zusätzlich wurden die ankommenden Züge in Tokio

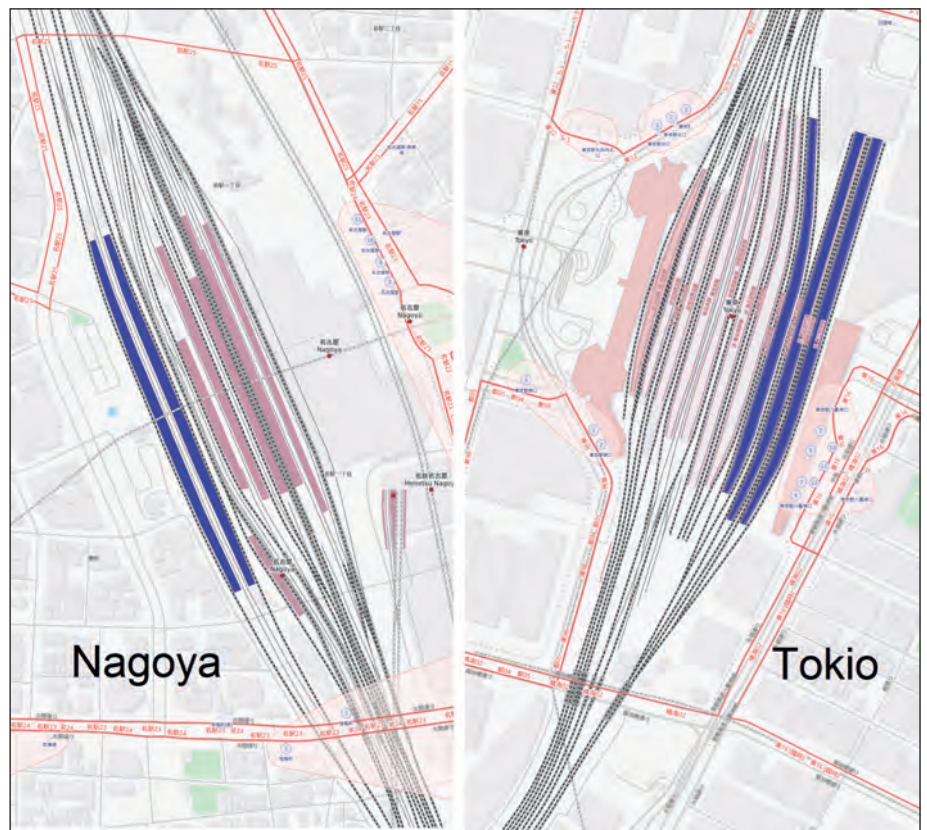


Abb. 6: Bahnhöfe in Tokio und Nagoya: Nur die blauen Bahnsteige können vom Tokaido-Shinkansen genutzt werden (Kartengrundlage: OpenStreetMap Verkehrskarte).

modelliert, um Einschränkungen der Bahnsteigbelegung und des Fahrstraßenknotens zu berücksichtigen. Verspätungen wurden nicht simuliert, da dies nicht relevant ist.

### Verdopplungsszenario

Im ersten Szenario wird eine Verdopplung der Nozomi-Züge vorgesehen. Das heißt, dass es zu jedem Nozomi-Zug einen Weiteren gibt, der als Folgefahrt von Tokio nach Osaka fährt. Dieses Verfahren ist möglich, weil alle Haltebahnhöfe mindestens zwei Bahnsteiggleise

pro Richtung aufweisen (Abb. 7). Die Hikari- und Kodama-Züge werden von den zwei Nozomis an kleineren Bahnhöfen überholt. Die Simulation zeigt, dass sich je nach Entfernung der Einfädelweiche von der Halteposition Abstände von 900 m bis zu einigen Kilometern zwischen den Zügen während der Folgefahrt einstellen. Im Falle von Abweichungen vom Fahrplan reduziert sich der Abstand auf wenige Meter.

Ein erwarteter Engpass ist der Bahnhof Nagoya (Abb. 8). Dieser ist aus folgenden Gründen

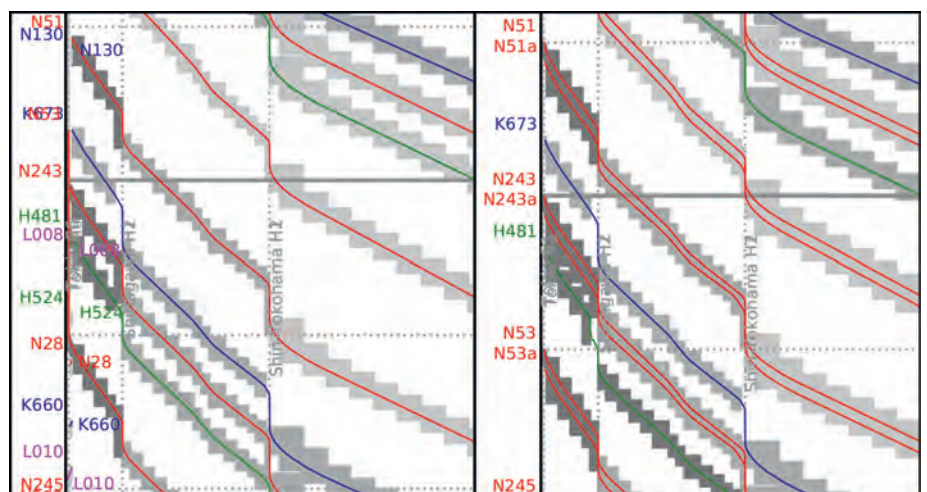
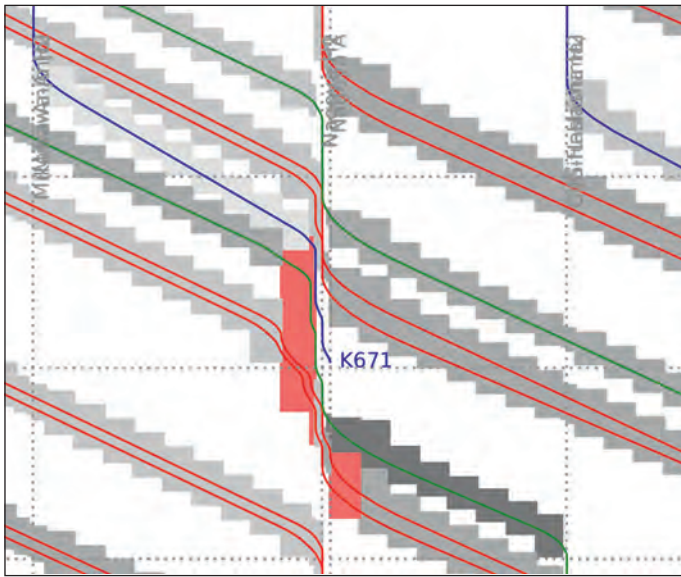


Abb. 7: Bildfahrplan im Bereich Tokio-Yokohama: links der Originalfahrplan, rechts mit „verdopelten“ Nozomi-Zügen



**Abb. 8:** Bildfahrplan im Bereich Nagoya: Die zwei Bahnsteiggleise pro Richtung reichen nicht aus, es kommt zu Behinderungen (rote Sperrzeitkästen).

Optimiertes Szenario

Um die Engpässe zu entschärfen und einen pünktlichen Betrieb zu ermöglichen, wurde der Fahrplan optimiert. Dazu wurde folgendes unternommen:

- Reduzierung der Haltezeiten in Nagoya auf zwei Minuten
- Verschiebung einiger Fahrplantrassen
- Reduzierung von Überholzeiten und Folgefahrt von überholten Zügen hinter Überholenden

Damit können die Verspätungen im Soll-Fahrplan reduziert, aber nicht vollständig beseitigt werden. Abgesehen davon ist es fraglich, ob die Haltezeiten derart reduziert werden sollten. Es kann festgestellt werden, dass in Nagoya zur Umsetzung des Konzepts unbedingt pro Richtung ein neues Gleis notwendig ist. Hier zeigt sich, dass nicht nur Optimierung und intelligente Lösungen helfen, manchmal muss auch in Beton investiert werden.

Dynamisches Flügeln zur Fahrzeitreduzierung

Das dynamische Flügeln zur Fahrzeitreduzierung versucht die Fahrzeiten von Hikari- und Kodama-Zügen zu reduzieren. Diese Züge verbringen sehr viel Zeit durch Überholungen. Zwei Dinge wurden angepasst: Zum einen fahren überholte Züge jetzt immer als Folgefahrt hinter dem Überholenden und zum anderen wird versucht, für den Fall, dass zwei Züge überholen, diese immer dynamisch geflügelt fahren zu lassen, um die Wartezeiten zu verkürzen (Abb. 9). Ziel ist es auch, die Kodama-Züge noch eine Station weiter zu bringen, bevor die nächste Überholung ansteht. In eventuell entstehende Lücken können zusätzliche Züge eingefügt werden, um die Kapazität zu erhöhen.

Die Anforderungen sind sehr streng: Die Pufferzeiten bei Überholungen liegen bei 2 Minuten, bei Zugfolge eine Minute, die Fahrzeitreserve liegt bei 3% und bei 7% für die längeren Abschnitte der Nozomi-Züge. Leider reicht dies nicht aus, die Erwartungen zu erfüllen. Das hat folgende Ursachen:

- Hikari-Züge halten relativ oft und produzieren Lücken, die nicht gefüllt werden können.
- Der Bahnhof Atami mit dem fehlenden Überholgleis verhindert einige Trassen.
- Der Engpass in Nagoya zehrt den Nutzen des dynamischen Flügeln von Hikari und Nozomi wieder auf.

**Fazit und Ausblick**

Für das dynamische Flügeln (das Fahren im relativen Bremswegstand bis zu wenigen Metern Abstand) sind einige Betriebsszenarien denkbar, die nutzbringend sein können. Zwei Hauptszenarien sind zu unterscheiden: Der Einsatz von klassischen und der von passiven Weichen.

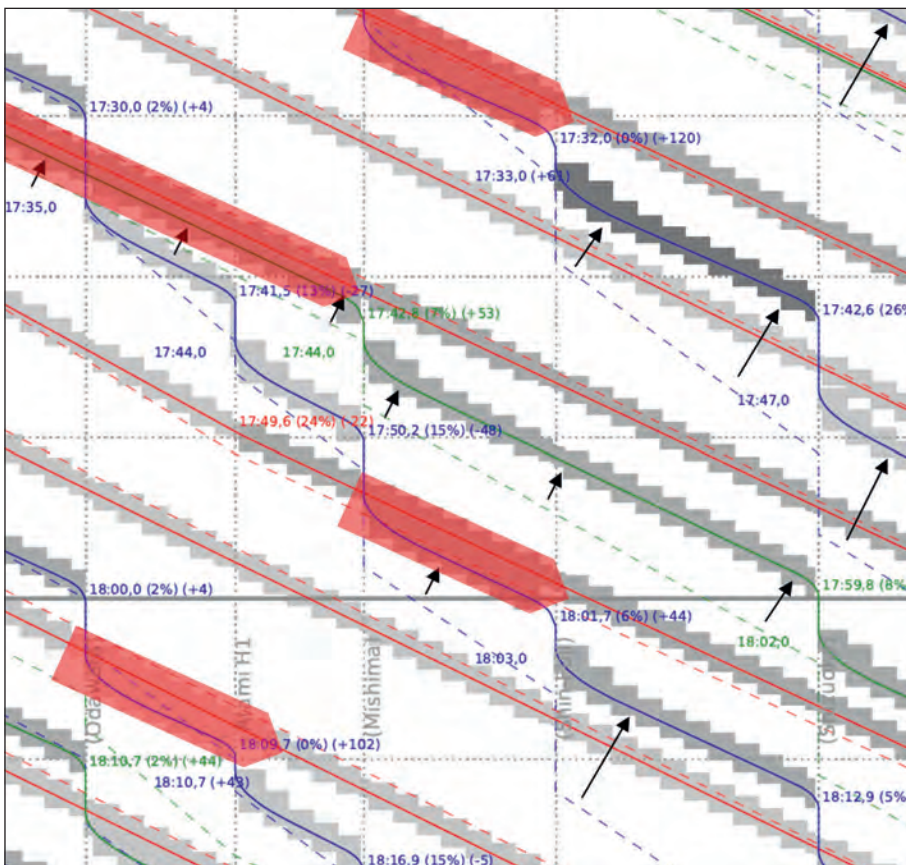
Der erste Anwendungsfall mit konventionellen Weichen auf der japanischen Shinkansen-Strecke zeigt einen großen Nutzen bei

nicht in der Lage, das Aufkommen ohne Verspätungen abzuwickeln:

- Die Haltezeit beträgt drei Minuten pro Zug, wodurch ein Nozomi-Paar die beiden Richtungsgleise mehr als fünf Minuten belegt.
- Manchmal sind zwei Züge zwischen den Nozomi-Abfahrten vorgesehen. Damit fahren innerhalb von zehn Minuten vier Züge.

- Aus- und einsetzende Kodama-Züge stehen auch drei Minuten auf dem Bahnsteiggleis.

Abgesehen von diesem Engpass wird ein großer Nutzen erzielt: Die Anzahl der Abfahrten von Tokio kann innerhalb von drei Stunden von 34 auf 52 Züge erhöht werden und die Kapazität steigt von 15 000 auf 23 000 Fahrgäste pro Stunde und Richtung.



**Abb. 9:** Szenario mit Verdichtung des derzeitigen Verkehrs: Ein Nutzen lässt sich nur unter Verletzung der Fahrplankonstruktionsregeln erreichen (dunkle Sperrzeitreppe = keine Fahrzeitreserve); die roten Pfeile stellen dynamisch geflügelte Abschnitte dar.

einer „Verdopplung“ der schnellen Nozomi-Züge auf. Hierbei fahren zwei Züge in dichtem Abstand hintereinander und teilen sich an allen Haltebahnhöfen auf benachbarte Gleise auf. Wenn zwei 400 m lange Shinkansen auf diese Weise fahren, kann die Kapazität der Strecke von Tokio nach Osaka von 15 000 auf 23 000 Fahrgäste pro Stunde und Richtung erhöht werden. Die Simulation zeigte einen Engpass im Bahnhof Nagoya auf, wo zusätzliche Bahnsteiggleise gebaut werden müssten.

Für das dynamische Flügeln sind weitere Szenarien untersuchenswert. Hierzu gehört das Slip-Coaching-Verfahren, bei dem Zugpaare, die aus kürzeren Teilzügen bestehen, sich an kleineren Stationen trennen und nur der hintere Teil anhält. Mit diesen Verfahren

könnte eine Reduzierung der Fahrzeiten ohne Infrastruktureneubau erreicht werden. Im deutschen ICE-Netz könnten z. B. kleinere Städte wie Göttingen, Kassel oder Fulda so angebunden werden, dass viele ICE-Teilzüge ohne Fahrzeitverlust durchfahren können und sich dennoch die Bedienungshäufigkeit der Städte nicht verschlechtert. Die haltenden Zugteile können dann entweder allein weiterfahren oder mit dem nächsten durchgehenden Zug dynamisch flügeln. ■

#### QUELLEN

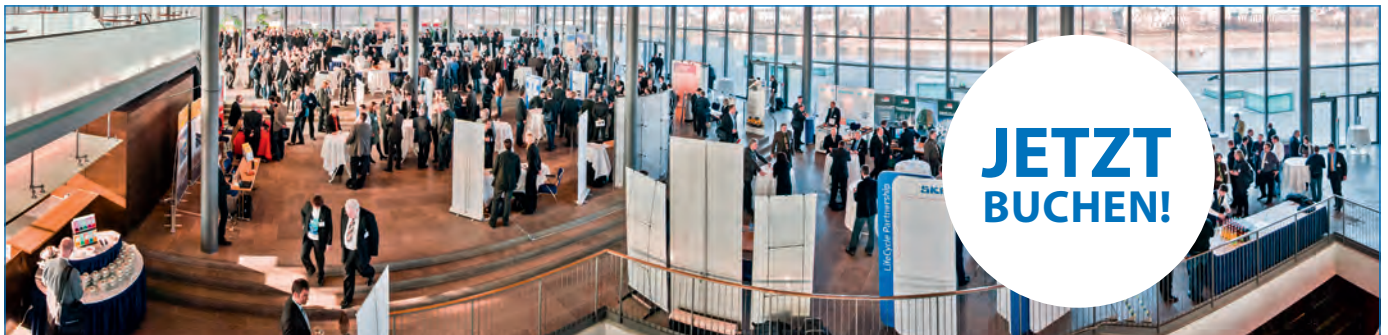
- [1] Next Generation Train Homepage: <http://verkehrsforchung.dlr.de/projekte/ngt-link>, letzter Aufruf: 11.10.2016  
 [2] Pacht, J.: Systemtechnik des Schienenverkehrs, 7. Ausgabe, Seite 35-36  
 [3] Slip Coaches, Dividing Trains at Speed, <http://mikes.railhistory.railfan.net/r134.html>, letzter Aufruf: 03.06.2016

- [4] OpenTrack Website: <http://www.opentrack.ch/>, letzter Aufruf: 03.06.2016  
 [5] RailSys Website: <http://www.rmcon.de/railsys/workflow>, letzter Aufruf: 11.10.2016  
 [6] FBS Website: <http://www.irfp.de/deutsch/fbs/>, letzter Aufruf: 11.10.2016  
 [7] Glover, J.: Global insights into high speed rail, Modern Railways, Bd. 66, Nr. 734, 2009, S. 64–69  
 [8] Andersen, S.: Hochgeschwindigkeitsland Japan im Jahr 2015, Eisenbahn-Revue International, 10/2015, Seite 492-494  
 [9] Fahrplan des Tokaido Shinkansen bei der Central Japan Railway Company: <http://english.jr-central.co.jp/info/timetable/>, letzter Aufruf: 17.05.2015



#### Dipl.-Ing. Tilo Schumann

Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
 Institut für Verkehrssystemtechnik  
 Deutsches Zentrum für Luft- und  
 Raumfahrt e.V., Braunschweig  
 tilo.schumann@dlr.de



## 15. Internationale Schienenfahrzeugtagung



**1. – 3. März 2017 in Dresden**

mit begleitender Fachausstellung

Programm und Anmeldung:

**[www.rad-schiene.de](http://www.rad-schiene.de)**

Anmeldung Fachausstellung ab sofort bei: [silke.haertel@dvvmedia.com](mailto:silke.haertel@dvvmedia.com)

Veranstalter:



Offizielle Medienpartner:

